

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОУ ВПО «БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФАКУЛЬТЕТ
УПРАВЛЕНИЯ И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

КАФЕДРА
ИНФОРМАЦИОННОГО МЕНЕДЖМЕНТА

МИШУНИН ВАДИМ ВАСИЛЬЕВИЧ
КОРСУНОВА ЕВГЕНИЯ ВЛАДИМИРОВНА
ИЩЕНКО ВИКТОР ИГНАТЬЕВИЧ
КУРЛОВ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Белгород, 2010 г.

УДК 681.325

ББК 32.97

М71

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Белгородского государственного университета

Рецензенты:

Александр Владимирович Белоусов, доцент кафедры технической кибернетики Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, к.т.н., доцент;

Владимир Ервандович Хачатрян, заведующий кафедрой математического и программного обеспечения информационных систем Белгородского государственного университета, д.ф-м.н., доцент

Мишунин, В.В.

М71 Информационно-измерительные и управляющие систем: Учебно-методическое пособие / В.В. Мишунин, Е.В. Корсунова, В.И. Ищенко, А.В. Курлов. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2010. – 129 с.

Учебно-методическое пособие по курсу «Информационно-измерительные и управляющие системы» состоит из лекционного материала и лабораторного практикума. Курс посвящен основам техники информационно-измерительных и управляющих систем, а так же программному обеспечению этих систем. Излагаются принципы построения современных операционных систем реального времени и SCADA-систем. Рассматриваются вопросы метрологии, стандартизации и сертификации, система обеспечения единства измерений. Рассматриваются специализированные микропроцессоры, микроконтроллеры, устройства ввода-вывода и телекоммуникаций. Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с требованиями по обязательному минимуму содержания и уровня подготовки специалиста с высшим образованием, предъявляемым Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по специальности 080508 «Информационный менеджмент», а также в соответствии с учебной программой.

УДК 681.325

ББК 32.97

© Авторы, 2010

© Белгородский

государственный университет, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Тема 1. Программное обеспечение информационно-измерительных и управляющих систем	7
1.1. Программное обеспечение верхнего уровня.....	7
1.1.1. SCADA-системы	8
1.1.2. MES-системы.....	10
1.1.3. ERP-системы.....	11
1.1.4. OLAP-системы	14
1.2. Программное обеспечение АСУТП	17
1.2.1. Технология обмена данными OPC	18
1.2.2. Аспекты применения OSCPВ и SCADA.....	20
1.3. SCADA-системы	22
1.3.1. Основные характеристики SCADA.....	24
1.3.2. Языки программирования SCADA	32
1.3.3. Человеко-машинный интерфейс	35
1.4. Основы функционирования OSCPВ.....	39
1.4.1. Концепция и взаимодействие задач реального времени	40
1.4.2. Планирование (диспетчеризация)	43
1.4.3. Средства межпроцессного взаимодействия	44
Тема 2. Метрология и стандартизация ИИС	48
2.1. Правовые основы метрологии и стандартизации	48
2.1.1. Состав метрологических систем в национальной системе измерений.....	48
2.1.2. Основные положения международных стандартов ИСО серии 9000	49
2.1.3. Управление метрологическим обеспечением.....	53
2.2. Средства измерений.....	54
2.2.1. Меры и эталоны	56
2.2.2. Измерительные преобразователи: АЦП и ЦАП	58
2.2.3. Измерительные приборы.....	60
2.3. Метрологические характеристики и погрешности средств измерений.....	62
2.3.1. Классификация погрешностей СИ	63
2.3.2. Обозначение величин погрешностей и оценка результатов эксперимента	64
2.3.3. Динамические характеристики СИ	66
2.4. Метрологическое обеспечение ИИС.....	68
2.4.1. Основные определения измерительных систем	69
2.4.2. Метрологические характеристики ИИС.....	71
2.4.3. Определение и контроль метрологических характеристик ИК ИИС	74
2.4.4. Утверждение типа СИ (сертификация)	75
2.4.5. Поверка (калибровка) СИ.....	80
Тема 3. Аппаратное обеспечение ИИС и ИУС	82

3.1. Общие сведения об аппаратном обеспечении ИУС	82
3.2. Программируемые логические контроллеры.....	87
3.2.1. ПЛК – микропроцессорный модуль.....	89
3.2.2. Устройства сбора данных и управления	93
3.2.3. Коммуникационные модули	94
Практикум (лабораторный).....	98
Лабораторная работа №1. Программирование PC-совместимых ПЛК серии ADAM-4500 в среде SCADA	98
Требования к содержанию, оформлению и порядку выполнения .	98
Описание лабораторного стенда	98
Выполнение работы.....	100
Контрольные вопросы к защите	102
Способ оценки результатов	102
Лабораторная работа №2. Управление микроклиматом помещения на базе ПЛК серии ADAM-4500	103
Требования к содержанию, оформлению и порядку выполнения	103
Описание лабораторного стенда	103
Выполнение работы.....	105
Контрольные вопросы к защите	107
Способ оценки результатов	107
Лабораторная работа №3. Исследование метрологических характеристик виртуальными СИ.....	107
Общие сведения	107
Описание лабораторной установки.....	111
Содержание отчета	113
Лабораторная работа №4. Исследование метрологических характеристик АЦП и ЦАП.....	113
Общие сведения	114
Описание виртуальной лабораторной установки	124
Порядок выполнения работы и методические указания.....	124
Содержание отчета	127
Список сокращений	127
Список источников*	129

Введение

Современная информационная система предприятия, не мыслима без комплекса достаточно сложной обработки информации, полученной не только путем ручного ввода, но и на основании автоматических измерений. К обработке информации можно отнести: автоматизированный сбор, преобразование, агрегирование, хранение, передачу и представление (визуализация). Результатом этой обработки служит предоставление требуемой и достоверной информации в нужном виде, в нужном месте, и в нужное время, все то, без чего невозможно полноценное управление. Здесь имеется ввиду не только информация для поддержки принятия решений, позволяющей операционному менеджменту выполнять свои функции, но и информация, на основании которой система в автоматическом или автоматизированном режиме производит выработку управляющих воздействий и команд, поступающих на реальный объект управления.

По сравнению с информационными системами, в которых функции получения первичной информации и выдачи управляющих воздействий перекладываются на человека, системы, построенные на основе реальной связи с объектом управления, обладают более высокой оперативностью и достоверностью, не менее важным является то, что в таких системах отсутствует человеческий фактор.

Аппаратные и программные средства, обеспечивающие техническую реализацию информационно-измерительных и управляющих систем, должны отвечать современным требованиям унификации и стандартизации, метрологической, конструктивной, информационной и эксплуатационной совместимости, принципам модульного построения. При выполнении этих требований обеспечивается надежность построенной на основе этих средств информационной системы предприятия, достоверность и оперативность получаемой менеджментом информации, гарантированность исполнения командной информации.

Информационно-управляющая система (ИУС) – это цифровая система контроля или управления некоторым реальным объектом. Универсальными вычислительными системами решаются задачи, не связанные с необходимостью принятия решения в реальном времени (расчет, моделирование, офисные задачи). Все остальные задачи попадают в область ИУС. Хотя разделение задач достаточно условно, ИУС, решающие разные задачи, имеют четко выраженную специфику.

Особенности ИУС:

- работа в реальном масштабе времени;
- уменьшение влияния человеческого фактора в управлении;
- специфические требования по надежности и безопасности функционирования;
- эксплуатационные и инструментальные особенности;

- специфические требования к проектированию и отладке.

Измерительно-информационная система (ИИС) – это совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки с целью представления потребителю в требуемом виде, либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации и др.

В зависимости от выполняемых функций ИИС реализуются в виде измерительных систем, систем автоматического контроля, технической диагностики и др. В свою очередь в зависимости от назначения измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др.

Измерительная система (ИС) – совокупность измерительных, связующих, вычислительных компонентов, образующих вычислительные каналы, функционирующих как единое целое, предназначенная для:

- ✓ получения информации о состоянии объекта;
- ✓ компьютерной обработки результатов измерений;
- ✓ регистрации и индикации результатов измерений;
- ✓ преобразования этих данных в выходные сигналы системы в разных целях.

Измерительные системы являются разновидностью средств измерений, и на них распространяются все общие требования к средствам измерений.

Тема 1. Программное обеспечение информационно-измерительных и управляющих систем

Основной целью изучения данной темы является ознакомления с назначением и областью применения информационно-измерительных и управляющих систем (ИИС и ИУС), освоение программного обеспечения этих систем на примере производственного предприятия, изучение принципов построения, классификации, комплекса решаемых задач, требований при разработке систем.

1.1. Программное обеспечение верхнего уровня

В данном курсе лекций основное внимание уделяется вопросам решения задач удаленного сбора информации, ее обработки и управления на производственном предприятии. Информационная система (ИС) в зависимости от конкретного приложения может выполнять функции только сбора информации, ее преобразования, хранения и представления, а также функции телеметрии, в таком случае система является информационно-измерительной. В более общем случае, кроме вышеизложенных функций ИС может обрабатывать алгоритмы управления, производить выработку управляющих воздействий и выдачу командной информации, реализовывать функции телемеханики, то такая система является по своей сути информационно-управляющей.

ИС предприятия в общем виде имеет иерархическую структуру (рис. 1.1) и состоит из различных аппаратных и программных средств, взаимодействующих между собой определенным образом и различающихся назначением, функциональностью, кругом решаемых задач и временем актуализации (т. е. периодом обновления информации, при котором происходят заметные изменения состояния).



Рис. 1.1. Информационная система производственного предприятия

Произведем обзор программного обеспечения верхнего уровня, составляющего автоматизированную систему управления предприятием (АСУП) или корпоративную информационную систему (КИС).

1.1.1. SCADA-системы

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – представляет собой многоуровневую человеко-машинную автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУТП), основанную на сборе данных и диспетчерском управлении. SCADA позволяет получить информацию из территориально удаленных объектов, обработать в соответствии с заложенной программой и передать на эти объекты управляющие или ограничивающие команды с помощью средств телекоммуникаций, промышленных логических контроллеров (ПЛК), датчиков и исполнительных механизмов.

Применение SCADA-систем дает возможность операторам и вспомогательному персоналу контролировать производственный процесс: включать или отключать механизмы и аппараты, открывать или закрывать задвижки на трубопроводах, следить за любыми параметрами разветвленного технологического процесса из специально оборудованной пультовой централизованного или диспетчерского управления (рис. 1.2). При этом существенно сокращается потребность в периодических посещениях операционным и обслуживающим персоналом территориально удаленных механизмов, агрегатов и технологического оборудования, повышается оперативность управления, сокращаются производственные расходы и увеличивается эффективность производства.

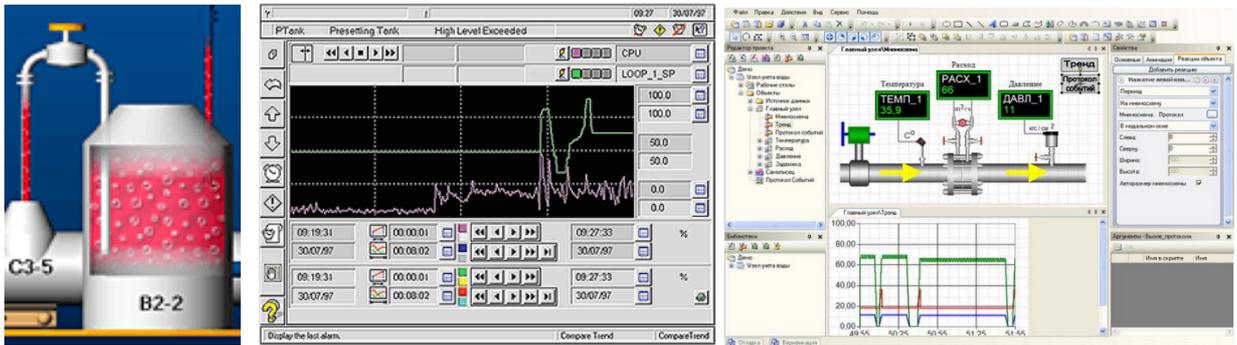


Рис. 1.2. Примеры мониторинга технологического процесса

В настоящее время SCADA является основным и наиболее перспективным методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в реальном времени.

Спектр функциональных возможностей определен самой ролью SCADA в системах управления и реализован практически во всех пакетах программ:

- средства исполнения прикладных программ;
- сбор первичной информации от устройств нижнего уровня;
- обработка первичной информации;
- регистрация тревожных сообщений (алармов) и исторических данных;
- хранение информации с возможностью ее пост-обработки (как правило, реализуется через интерфейсы к базам данных);
- визуализация информации в виде мнемосхем, графиков (трендов) с возможностью интерактивного воздействия;
- возможность работы прикладной системы с наборами параметров установки или "recipe";
- автоматизированная разработка, дающая возможность создания ПО системы автоматизации без реального программирования.

Все компоненты системы управления объединены между собой каналами связи. Обеспечение взаимодействия SCADA-систем с локальными контроллерами, контроллерами верхнего уровня, офисными и промышленными сетями возложено на так называемое коммуникационное программное обеспечение.

Большой объем информации, непрерывно поступающий с устройств ввода/вывода систем управления, предопределяет наличие в таких системах баз данных (БД). Основная задача баз данных – своевременно обеспечить пользователя всех уровней управления требуемой информацией. До недавнего времени регистрация информации в реальном времени решалась на базе ПО интеллектуальных контроллеров и SCADA-систем. В последнее время появились новые возможности по обеспечению высокоскоростного хранения информации в БД.

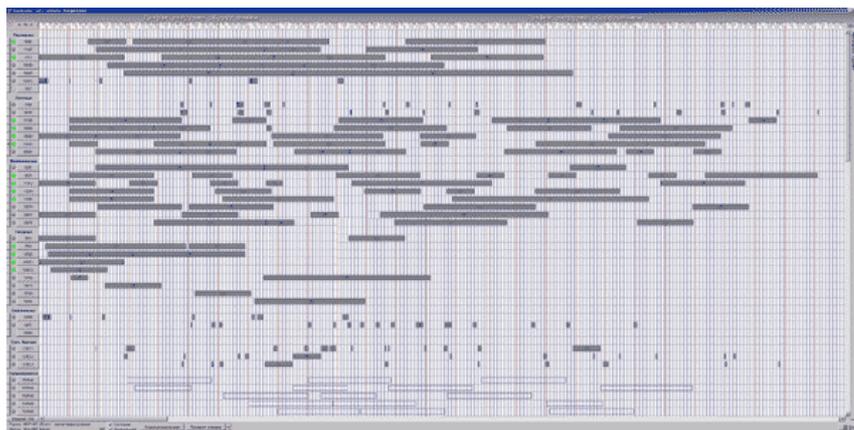
Среди наиболее известных SCADA-пакетов можно выделить следующие системы: InTouch, ISaGRAF, Genesis, RealFlex, Sitex, в том числе созданных российскими IT-компаниями: TraceMode, Image, MasterSCADA, Focus.

1.1.2. MES-системы

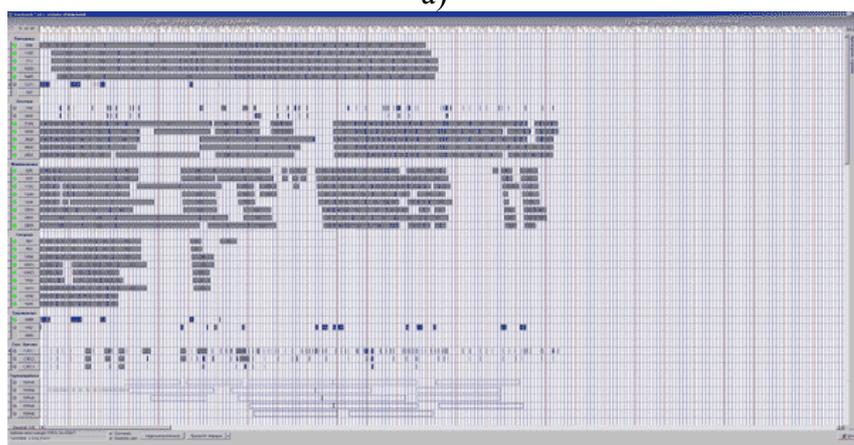
MES (Manufacturing Executive Systems) – система управления технологическим производством, т. н. производственной логистики, отражающая производственный процесс, его полный производственный цикл, с детализацией по конкретным единицам технологических операций и технологического оборудования. Внедрение MES-систем призвано решать такие актуальные для производства вопросы, как планирование и управление производственными заданиями, расчет себестоимости отдельных производственных операций и выпускаемой продукции, создание материальных и энергетических балансов, мониторинг исполнения заказов и т. д.

MES-модель позволяет представить производственный процесс как совокупность взаимосвязанных энергетических и материальных потоков. В процессе производства материалы и энергия перемещаются по технологическим цепочкам, при этом происходит превращение одних материалов в другие, а также возникают потери, отходы и брак. Операционный персонал производственных участков и цехов в реальном времени следит за материальными потоками, потерями производства, анализирует их причины и предпринимает меры, направленные на снижение потерь и брака. Данные о материальных потоках поступают в MES-систему от SCADA уровня, из реляционных СУБД, либо вводятся в ручную.

MES-система производит оперативно-календарное планирование (в т. ч. построение временных циклограмм производственного процесса), диспетчеризацию производства, автоматизацию документооборота. По активизированным производственным заданиям система генерирует сменные задания, наряды на работы и заказы на материалы. С помощью системы можно оптимизировать производственный цикл по критериям максимума производительности, минимума затрат или минимума времени за счет распределения материальных и энергетических потоков, регулирования загруженности производственных линий и технологического оборудования. На рис. 1.3 приведен пример временной оптимизации, в строках таблиц выведены основные потоки технологических операций и единицы оборудования, участвующие в производстве продукта, а по горизонтальной оси – время их действия. Как видно из рисунка производственный цикл после оптимизации (рис. 1.3-б) сократился на 30% по сравнению с циклом до внедрения MES-системы (рис. 1.3-а).



а)



б)

Рис. 1.3. Диаграмма загрузки оборудования до (а) и после (б) оптимизации в MES-системе.

Для каждого материального ресурса может указываться его текущая стоимость, тогда система преобразует материальные потоки в финансовые, и в реальном времени формирует текущую себестоимость продукции. Производственный менеджмент выявляет причины ее необоснованного роста и оперативно принимает меры для ее снижения.

По каждому производственному заданию ведется автоматический контроль исполнения, и фиксируются те задания, в которых было превышено плановое время или стоимость. Руководитель производства в реальном времени может проследить путь любой партии продукции по технологической цепочке, выявить срывы в исполнении заданий и поставках и незамедлительно принимать меры по устранению их причин.

Среди наиболее популярных MES-систем, предлагаемых на рынке, можно выделить T-FACTORY и Zenith SPPS, а также программные продукты российских IT-компаний: ФОБОС, PolyPLAN, RFT, TrioProd.

1.1.3. ERP-системы

ERP (Enterprise-Resource Planning) – комплексная система управления ресурсами предприятия, объединяющая подразделения предприятия и отражающая их функции. Это могут быть информационные системы (ИС), применяемые для распределения всех ресурсов на предприятии и

используемые для осуществления продаж, а так же в процессе закупок, учета и производства. Кроме того, ERP-системы могут использоваться для реализации различных методов эффективного планирования всеми ресурсами на предприятии с целью осуществления производства, закупок, учета, продаж, выполнения заказов клиентов в сферах обслуживания и дистрибьюции.

Большинство предприятий организовано таким образом, что каждый конкретный отдел имеет собственную компьютерную программу, способную обрабатывать запросы только этого отдела. Внедрение ERP-системы на предприятие возможно двумя путями. Первый путь предполагает сохранение существующих не связанных подсистем подразделений и объединение их результатов функционирования, их локальных баз данных по средствам некоторой программы-надстройки в единую интегрированную систему, работающую с единой базой данных предприятия. Достоинство этого пути состоит в безболезненности перехода на новую систему, обеспечивающую сохранение существующих методов работы отдельных подразделений предприятия, а недостатком является наличие в системе нескольких программных платформ и СУБД, что приводит к трудностям в обслуживании и сопровождении, оперативности получения и репликации данных.

Второй подход связан с коренной ломкой существующих локальных подсистем и, возможно, структуры управления предприятия с целью ее оптимизации, и создание интегрированной системы, работающей на единой программной платформе, с единой СУБД. На смену устаревшим компьютерным системам по финансам, контролю над производством, управлению персоналом, логистике, складу приходит универсальная ERP-система, включающая в себя программные модули, позволяющие полностью сохранять функционал старых подсистем и вводить новые функциональные возможности, касающиеся сводной аналитической отчетности и планирования. При этом существенно упрощается и сокращается процесс обмена данными между различными подразделениями на предприятии. Основными трудностями внедрения такой системы являются нарушение нормального ритма работы подразделений в период внедрения и отладки, сложности при первичном наполнении исходными данными системы и переносе данных из устаревших программ, противодействие со стороны персонала, нежелающего менять привычный уклад работы.

Метод интеграции может принести колоссальную выгоду, если так называемая компания-интегратор правильно внедрит ERP-систему. Возьмем, к примеру, клиентский заказ. Как правило, он отправляется по компании в длинное путешествие, в основном бумажное, из лотка в лоток. При этом его часто кодируют и перекодируют в компьютерных системах разных отделов, часто имеет место ручной многократный ввод исходных данных. К тому же, никто в компании толком не знает, что происходит с заказом в тот или иной момент, потому что отдел финансов не может войти, например, в складскую систему и проверить, отправлен ли товар.

После внедрения системы выполнение заказа клиента упрощается многократно. Для отработки таких операций как принятие заказа, получение товара со склада, выставление счетов на оплату, получение оплаты сотруднику достаточно просто ввести данные в ERP-систему и ему открывается доступ ко всей необходимой информации: о наличии товара на складе по средствам складского модуля, о времени отгрузки товара по средствам модуля логистики, о кредитном рейтинге клиента и истории его заказов по средствам модуля управления финансами др.

В состав практически любой ERP-системы входит следующий набор модулей, обеспечивающих работу и взаимодействие всех основных подразделений предприятия:

- производство;
- снабжение;
- торговля и сбыт произведенной продукции;
- бухгалтерский и налоговый учет;
- управление персоналом;
- складское хранение;
- техобслуживание оборудования;
- управление и планирование финансов.

Основные функциональные задачи ERP-систем, касающиеся основного вида деятельности производственного предприятия:

- ✓ регулировать количество запасов, устраняя их дефицит и залеживание на складах, и тем самым значительно снизить омертвленные в запасах затраты и складские издержки;
- ✓ сократить незавершенное производство, поскольку производство планируется только на основе спроса на конечную продукцию, при этом производственные работы инициируются исходя из срока, к которому должен быть исполнен клиентский заказ;
- ✓ оценивать выполнимость поступивших заказов с точки зрения имеющихся на предприятии мощностей;
- ✓ сократить расходы и время, затрачиваемые на изготовление продукции, за счет оптимизации бизнес-процессов;
- ✓ отслеживать фактическую производительность каждой производственной единицы и, сравнивая ее с плановой производительностью, оперативно вносить корректировки в производственные планы;
- ✓ в результате уменьшения цикла производства и цикла выполнения заказа более гибко реагировать на спрос;
- ✓ улучшить обслуживание клиентов и заказчиков за счет своевременного исполнения поставок.

Как правило, ERP-система не связана непосредственно с производственным процессом, но имеет модель технологического процесса и получает необходимые данные от программ управления технологическим процессом нижнего уровня иерархии: MES- и SCADA-систем. Работа ERP-

системы состоит в улучшении деятельности предприятия, оптимизации материальных и финансовых потоков на основе вводимой на рабочих местах необходимой информации. Необходимо отметить, что информация вводится в систему только один раз в том подразделении, где она возникает, хранится в одном месте, и многократно используется всеми заинтересованными подразделениями.

Внедрение ERP-системы позволяет достичь конкурентных преимуществ за счет оптимизации бизнес-процессов предприятия и снижения издержек, дает возможность управлять себестоимостью продукции. Наиболее известные ERP-системы и ERP-подобные системы, предлагаемые в настоящее время на рынке – это SAP R/3, Oracle Applications, Галактика ERP, 1С: Предприятие.

1.1.4. OLAP-системы

OLAP (OnLine Analytical Processing) – это название не конкретного продукта, а целой технологии оперативной аналитической обработки, предполагающей анализ данных и получение отчетов. Пользователю предоставляется многомерная таблица, автоматически суммирующая данные в различных разрезах и позволяющая оперативно управлять вычислениями и формой отчета.

Хотя в некоторых изданиях аналитическую обработку называют и онлайн-овой, и интерактивной, однако прилагательное "оперативная" как нельзя более точно отражает смысл технологии OLAP. Разработка руководителем решений по управлению попадает в разряд областей наиболее сложно поддающихся автоматизации. Однако сегодня имеется возможность оказать помощь управленцу в разработке решений и, самое главное, значительно ускорить сам процесс разработки решений, их отбора и принятия.

Системы поддержки принятия решений обычно обладают средствами предоставления пользователю агрегатных данных для различных выборок из исходного набора в удобном для восприятия и анализа виде. Как правило, такие агрегатные функции образуют многомерный набор данных, нередко называемый гиперкубом или метакубом, оси которого содержат параметры, а ячейки – зависящие от них агрегатные данные – причем храниться такие данные могут и в реляционных таблицах, но в данном случае речь идет о логической организации данных, а не о физической реализации их хранения. Вдоль каждой оси данные могут быть организованы в виде иерархии, представляющей различные уровни их детализации.

По измерениям в многомерной модели откладывают факторы, влияющие на деятельность предприятия (например: время, продукты, филиалы компании и т.п.). Полученный OLAP-куб затем наполняется показателями деятельности предприятия (цены, продажи, план, прибыли, убытки и т.п.). Необходимо отметить, что в отличие от геометрического куба грани OLAP-куба не обязательно должны иметь один размер. Наполнение это может вестись как реальными данными оперативных систем, так и

прогнозируемыми на основе исторических данных. Измерения гиперкуба могут носить сложный характер, быть иерархическими, между ними могут быть установлены отношения. В процессе анализа пользователь может менять точку зрения на данные (так называемая операция смены логического взгляда), тем самым, просматривая данные в различных разрезах и разрешая конкретные задачи. Над кубами могут выполняться различные операции, включая прогнозирование и условное планирование (анализ типа “что, если”).

Благодаря такой модели данных пользователи могут формулировать сложные запросы, генерировать отчеты, получать подмножества данных. Оперативная аналитическая обработка позволяет значительно упростить и ускорить процесс подготовки и принятия решений руководящим персоналом. Оперативная аналитическая обработка служит цели превращения данных в информацию. Она принципиально отличается от традиционного процесса поддержки принятия решений, основанного, чаще всего, на рассмотрении структурированных отчетов.

OLAP-технология относится к виду интеллектуального анализа и предполагает 12 принципов:

1. Концептуальное многомерное представление. Пользователь-аналитик видит мир предприятия многомерным по своей природе, соответственно и OLAP-модель должна быть многомерной в своей основе.
2. Прозрачность. Архитектура OLAP-системы должна быть открытой, позволяя пользователю, где бы он ни находился, связываться при помощи аналитического инструмента – клиента – с сервером.
3. Доступность. Пользователь-аналитик OLAP должен иметь возможность выполнять анализ, базирующийся на общей концептуальной схеме, содержащей данные всего предприятия в реляционной БД, также как и данные из старых наследуемых БД, на общих методах доступа и на общей аналитической модели. OLAP-система должна выполнять доступ только к действительно требующимся данным, а не применять общий принцип "кухонной воронки", который влечет ненужный ввод.
4. Постоянная производительность при разработке отчетов. При увеличении числа измерений или объема базы данных пользователь-аналитик не должен чувствовать существенного снижения производительности.
5. Клиент-серверная архитектура. Большинство данных, которые сегодня требуется подвергать оперативной аналитической обработке, содержатся на мэйнфреймах с доступом на пользовательские рабочие станции через ЛВС. Это означает, что OLAP-продукты должны быть способны работать в среде клиент-сервер.
6. Общая многомерность. Каждое измерение должно применяться безотносительно своей структуры и операционных способностей.

Базовые структуры данных, формулы и форматы отчетов не должны смещаться в сторону какого-либо одного измерения.

7. Динамическое управление разреженными матрицами. Физическая схема OLAP-инструмента должна полностью адаптироваться к специфической аналитической модели для оптимального управления разреженными матрицами. Разреженность (измеряется в процентном отношении пустых ячеек ко всем возможным) – это одна из характеристик распространения данных.
8. Многопользовательская поддержка. OLAP-инструмент должен предоставлять возможности совместного доступа (запроса и дополнения) нескольких пользователей-аналитиков при условии сохранения целостности и безопасности.
9. Неограниченные перекрестные операции. Различные операции вследствие их иерархической природы могут представлять зависимые отношения в OLAP-модели, т.е. являются перекрестными. Их выполнение не должно требовать от пользователя-аналитика вновь определять эти вычисления и операции.
10. Интуитивная манипуляция данными. Взгляд пользователя-аналитика на измерения, определенный в аналитической модели, должен содержать всю необходимую информацию, чтобы выполнять действия с OLAP-моделью, т.е. они не должны требовать использования системы меню или иных множественных операций с пользовательским интерфейсом.
11. Гибкие возможности получения отчетов. Средства формирования отчетов должны представлять собой синтезируемые данные или информацию, следующую из модели данных в ее любой возможной ориентации. Это означает, что строки, столбцы или страницы отчета должны отображать несколько измерений OLAP-модели одновременно с возможностью показать любое подмножество элементов (значений), содержащихся в измерении, причем в любом порядке.
12. Неограниченная размерность и число уровней агрегации. Исследование о возможном числе необходимых измерений, требующихся в аналитической модели, показало, что одновременно пользователем-аналитиком может использоваться до 19 измерений. Отсюда вытекает рекомендация о числе измерений, поддерживаемой OLAP-системой. Более того, каждое из общих измерений не должно быть ограничено по числу определяемых пользователем-аналитиком уровней агрегации.

В качестве специализированных OLAP-систем, предлагаемых в настоящее время на рынке, можно указать CalliGraph, Business Intelligence. Для решения простых задач анализа данных возможно использовать бюджетное решение – офисные приложения Excel и Access компании Microsoft, которые содержат элементарные средства OLAP-технологии, позволяющие создавать сводные таблицы и строить на их основе различные отчеты.

Резюмируя обзор ПО верхнего уровня, используемого для автоматизированного управления предприятием, можно отметить, что границы между функциональной наполненностью и кругом решаемых задач различных систем весьма размыты. Так, например, некоторые MES-системы могут частично выполнять функции ERP-систем по планированию ресурсов, расчету себестоимости и даже производить OLAP-анализ данных, а некоторые ERP-системы могут контролировать фактическую производительность каждой единицы оборудования, что свойственно MES-системам.

1.2. Программное обеспечение АСУТП

Рассмотрим программное обеспечение нижнего уровня, в том числе и SCADA-системы, применительно к нижнему уровню автоматизации (рис. 1.4).

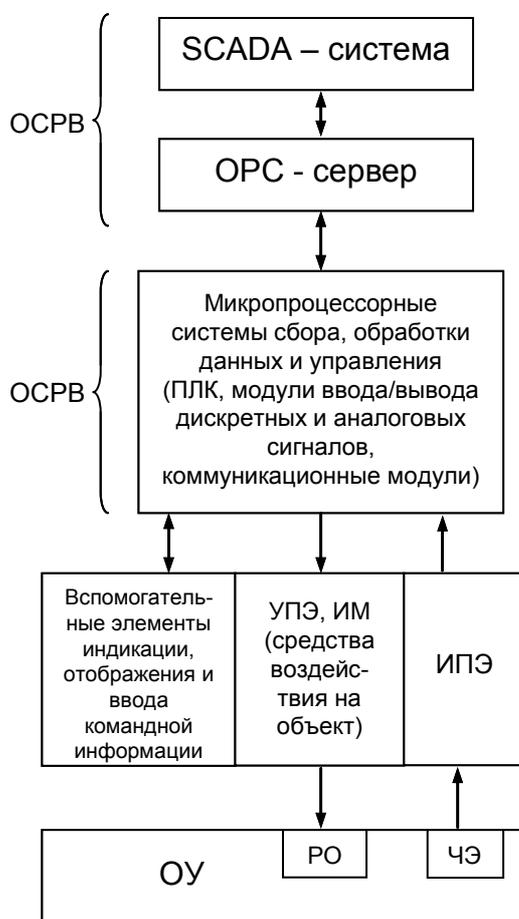


Рис. 1.4. Программное обеспечение нижнего уровня

Дадим некоторые пояснения из аппаратной части системы управления с целью осознания функций и задач программного обеспечения информационно-управляющих систем. В состав объекта управления как правило, встраиваются специальные устройства: ЧЭ – чувствительные элементы (датчики), позволяющие снимать информацию об управляемых и контролируемых переменных и передавать эту информацию в систему управления; РО – рабочие органы, предназначенные для преобразования управляющих воздействий (УВ) в регулируемые потоки энергии или

вещества. Сигналы УВ на рабочие органы поступают от специальных средств воздействия на объект – усилительно-преобразовательных элементов (УПЭ) и исполнительных механизмов (ИМ), которые служат для преобразования по мощности и по виду сигнала, необходимого для приведения в действие РО. Усиление и преобразование здесь необходимо, так как сигнал управления, вырабатываемый устройством управления (УУ), является, как правило, сигналом электрического напряжения или тока и имеет низкую мощность – это выход ЦАП либо дискретный выход транзистора или электромагнитного реле, а выходом УПЭ и ИМ может быть какой угодно сигнал, который должен приниматься рабочим органом. Например, для электропечи УПЭ – тиристорный усилитель переменного тока, а РО – нагревательные элементы печи – электротэны. Еще пример, управляемый газовый котел для отопления помещения, здесь УПЭ работает вместе с ИМ – электродвигателем, выходом которого является механическое перемещение РО – заслонки, изменяющей поток газа в горелку котла.

Чувствительные элементы датчиков служат для преобразования физической управляемой или контролируемой величины в электрический сигнал. Как правило, для ввода этого сигнала в УУ необходимо его усилить до номинального уровня и, возможно, преобразовать по виду, например в цифровой код, эти функции выполняет измерительно-преобразовательный элемент (ИПЭ).

Вспомогательные элементы системы управления: индикации, отображения, ввода командной информации предназначены для организации интерфейса с операционным персоналом производственного процесса на низком уровне. Под низким уровнем здесь мы будем понимать использование приборов индикации, регистрации и счетчиков, органов ввода командной информации – кнопок, тумблеров и переключателей, которые размещаются как вблизи объекта управления, так и в пультовых централизованного и диспетчерского управления. Если эти устройства подключены к ПЛК или к управляющему компьютеру, то отслеживание команд операторов и вывод оперативной информации тоже необходимо производить в реальном времени.

1.2.1. Технология обмена данными OPC

OPC это аббревиатура от OLE for Process Control, или OLE для управления процессами, технология Microsoft OLE (Object Linking and Embedding) подразумевает связывание и встраивание объектов.

Технология OPC OLE for Process Control представляет собой открытый стандарт программного интерфейса для связи устройств и программного обеспечения, дающий универсальный механизм обмена данными в модели распределенных объектов для использования разработчиками клиентских и серверных приложений. OPC-сервер является программной средой, обеспечивающей одновременный унифицированный способ доступа к данным для различных программных пакетов. В нашем случае это SCADA-пакеты различных производителей программного обеспечения.

Поддержка OPC позволяет пользователям связывать устройства и программы, производители которых никогда не тестировали взаимодействие своих продуктов. Среди всех существующих спецификаций OPC широкое распространение получила только OPC Data Access (или сокращенно OPCDA), которая обеспечивает непосредственно доступ к данным реального времени и выдачу управляющих воздействий. Именно эта спецификация, ставшая стандартом де-факто, полностью поддерживается в SCADA-системах.

Интерфейс OPC подразумевает взаимодействие двух программных модулей: OPC-сервера и OPC-клиента. Например, в качестве OPC-сервера может выступать программа, получающая данные от контроллера или интеллектуального датчика по внутреннему протоколу обмена, характерного для данного устройства. А OPC-клиентом может являться исполнительный модуль SCADA системы, запрашивающий у OPC-сервера данные реального времени и выставляющий данные об управляющих воздействиях. То есть, в этом случае OPC-сервер контроллера представляет собой промежуточное звено, программный шлюз между устройством и SCADA.

Создают OPC-сервера производители и поставщики оборудования автоматизации, или OEM (Original Equipment Manufacturer). Предполагается, что тот, кто создаёт, например, плату сбора данных, снабжает её не только драйвером, но и реализует OPC-сервер, работающий с этой платой через драйвер или даже напрямую. Тем самым OEM-производитель предоставляет стандартный доступ к своей плате. Список возможных изготовителей OPC-серверов неограничен. OPC-сервером можно снабдить контроллер, плату ввода/вывода, адаптер полевой шины, генератор случайных чисел, что угодно, лишь бы это могло поставлять или принимать данные. Но всё-таки здесь речь идёт, в первую очередь, о программном обеспечении для более низкого уровня в системах управления.

Стандарт OPC Data Access предназначен для поставки оперативных данных от оборудования и/или к оборудованию, в нем реализованы спецификации COM-интерфейса. Существует три основных способа получения OPC-клиентом данных от OPC-сервера: синхронное чтение, асинхронное чтение и подписка. При синхронном чтении клиент посылает серверу запрос со списком интересующих его переменных и ждёт, когда сервер его выполнит. При асинхронном чтении клиент посылает серверу запрос, а сам продолжает работать. Когда сервер выполнил запрос, клиент получает уведомление через интерфейс соответствующего COM-объекта. И, наконец, в случае подписки клиент передаёт серверу список интересующих его переменных, а сервер затем регулярно присылает клиенту информацию об изменившихся переменных из этого списка также через интерфейс соответствующего COM-объекта клиента. Эти списки в терминологии OPC называются группами. Каждый клиент может поддерживать одновременно много групп с разной скоростью обновления.

OPC может функционировать и поверх драйвера оборудования. Если имеется оборудование, например плата АЦП, управляемая через драйвер на компьютере с Windows или другой ОС, поддерживающей COM/DCOM, то

можно непосредственно поверх драйвера реализовать OPC-сервер. Замена устройства не потребует изменения остальных приложений: драйвер изменился, но OPC-интерфейс поверх него остался прежний.

1.2.2. Аспекты применения ОСПВ и SCADA

Рассмотрим аспекты применения *операционных систем реального времени* (ОСПВ). В каких случаях целесообразно применять ОСПВ, а в каких можно обойтись и без них, сэкономив при этом деньги? Попытаемся ответить на этот вопрос.

Для достаточно простых задач автоматизации анализ того, успеет ли компьютер своевременно отреагировать на поведение объекта, оказывается сравнительно несложным. Поэтому в таких случаях достаточно обеспечить требуемое быстродействие одной единственной задачи или нескольких задач, очередность выполнения которых четко определена и жестко зависима между собой. Это возможно и без применения ОСПВ.

Однако в большей части реальных систем управления, где приходится анализировать одновременно поведение нескольких характеристик объекта с различной динамикой, написание управляющей программы оказывается весьма нетривиальной задачей. Разработка может быть существенно облегчена использованием операционной системы реального времени.

Таким образом, ОСПВ целесообразно использовать для решения таких задач управления, в которых требуется контролировать несколько временных процессов, имеющих различную динамику и не синхронизированных между собой, а также задач, в которых ведется обработка в реальном времени нескольких внешних асинхронных событий.

Использование ОСПВ позволяет программисту разрабатывать управляющую программу в виде нескольких относительно независимых, но взаимодействующих модулей (*задач* или *процессов* реального времени), а затем программно реализовывать и отлаживать задачи относительно независимо одну от другой.

Две основные функции ОСПВ: разделение между задачами ресурсов системы: процессорного времени, периферийных устройств и динамически выделяемой памяти; обеспечение информационного взаимодействия (обмена данными) между задачами, – реализуются однотипно, следующим образом. Каждая задача, если она не может продолжить выполнение (требует занятого ресурса либо недостающих данных), приостанавливается, и ОСПВ передает управление другой, наиболее приоритетной задаче, готовой продолжить исполнение. Процесс переключения задач требует сохранения контекста приостанавливаемой задачи и восстановления контекста возобновляемой задачи. Время переключения контекста является одной из наиболее важных характеристик ОСПВ.

В настоящее время на рынке предлагается около сотни разных ОСПВ. Они различаются объемом функциональности, необходимыми ресурсами вычислителя и ценами. Те, что на нижнем конце ценового спектра предлагают только базовый вытесняющий планировщик и немного других

ключевых системных вызовов. Подобные операционные системы обычно дешевы или вообще распространяются бесплатно. Как правило они поставляются с исходными кодами, которые конечный пользователь можете модифицировать для создания специфических прикладных программ. Операционные системы на другом конце ценового спектра обычно содержат уйму выполняемых функций кроме функций базового планировщика. Данные операционные системы могут быть очень дорогими, стартовая цена может превышать 10 000\$. Однако, такая цена часто включает бесплатную техническую поддержку и обучение, а также набор средств разработки.

Между двумя этими крайностями находятся системы, которые имеют умеренные цены и/или отчисления, но не содержат исходных кодов; техническая поддержка может стоить дополнительных денег. Большинство коммерческих операционных систем попадают в эту категорию.

Примером оптимальной в отношении цена/качество ОСРВ может служить операционная система QNX Neutrino, являющаяся развитием операционной системы UNIX и имеющая микроядерную архитектуру. В QNX реализованы стандарты POSIX (Portable Operating System Interface), описывающие множество базовых, системных сервисов, необходимых для функционирования прикладных программ в реальном времени. Существует также расширение реального времени для ОС Windows NT – RTX (Real Time Extension).

Какие именно программные средства в общей иерархии АСУП на практике функционируют под управлением ОСРВ, и где использование ОСРВ наиболее целесообразно? Ответ лежит на поверхности: чем на более низком уровне находится ПО, чем плотнее организовано взаимодействие с реальным объектом, чем меньше время актуализации – тем более обоснованным является применение ОСРВ.

К аппаратно-программным средствам нижнего уровня – контроллерного уровня – предъявляются жесткие требования по надежности и времени обработки информации. Программируемые логические контроллеры (ПЛК) должны гарантированно откликаться на внешние события, поступающие от объекта, за время, определенное для каждого события.

Для критичных с этой точки зрения объектов рекомендуется использовать контроллеры с операционными системами реального времени. Некоторые ОСРВ, например QNX способны поддерживать процессы реального времени, реализованные на сети территориально распределенных контроллеров, в том числе и интеллектуальных контроллеров (управляющих компьютеров). ОСРВ на контроллерном уровне часто называют встраиваемой системой реального времени (embedded real time system).

Уровень SCADA может функционировать под управлением ОС Windows, тогда SCADA-система не является системой реального времени и в основном отвечает за контроль, визуализацию, настройку режимов работы, архивирование данных процесса управления, ведение журнала алармов. Алгоритмы управления системы нижнего уровня реализуются в

этом случае на контроллерном уровне в режиме реального времени. Такая схема становится единственно возможной для быстродействующих динамических процессов с временем актуализации менее секунды и долей секунды.

Управление сверхбыстродействующими динамическими процессами с временем актуализации менее сотой доли секунды строится как локальная подсистема. На одном *локальном контроллере* запрограммирована одна единственная задача управления, работающая под управлением однозадачной операционной системы, часто усеченной DOS-подобной, обеспечивающей максимальное быстродействие управляющего устройства (УУ). Факторы, повышающие быстродействие УУ: увеличение тактовой частоты; использование специализированных ПЛК с гарвардской архитектурой; построение ПЛК на базе RISC-процессора с усеченной системой команд; проектирование более простых алгоритмов управления; применение целочисленной арифметики; программирование на языке низкого уровня Assembler и др.

Управление вялотекущими динамическими процессами, для которых достаточным временем актуализации является секундный и более интервал, можно поручить SCADA-системе. Контроллерный уровень в этом случае призван решать задачи управления быстродействующими динамическими процессами. Если таковые отсутствуют, то ПЛК используются лишь в качестве интеллектуальных датчиков для первичной обработки и передачи информации в SCADA-систему, а также для передачи и преобразования управляющих воздействий на объект. В некоторых SCADA-системах, работающих под управлением ОС Windows, реализованы собственные достаточно гибкие и надежные механизмы обеспечения режима реального времени, как, например, в системах InTouch и TraceMode. А некоторые SCADA-системы спроектированы для работы под управлением именно ОСПВ, тогда функции обеспечения режима реального времени ложатся на операционную систему, для чего собственно ОСПВ и предназначены. Например, под QNX работают следующие SCADA: Genesis, RealFlex, СТАТУС-4, Focus.

1.3. SCADA-системы

Обычно системный интегратор или конечный пользователь, приступая к разработке прикладного программного обеспечения для создания системы управления, выбирает один из следующих путей:

- ✓ программирование с использованием классических средств (алгоритмические языки программирования высокого уровня, стандартные средства отладки и пр.);
- ✓ использование существующих, готовых инструментальных проблемно-ориентированных средств (COTS Commercial Off The Shelf).

Индивидуальный подход, при котором программа для микроконтроллера разрабатывается программистом специально для решения конкретной задачи на языке Ассемблер или Си, характерен большой

длительностью и трудоемкостью, особенно это актуально для создания сложных распределенных систем управления. Затраты на программирование и отладку алгоритмов управления в общих проектировочных затратах при этом подходе составляет 30%, а при наличии нерешенных задач взаимодействия локальных контроллеров в сложной распределенной системе управления – может и значительно превысить этот рубеж. Классический вариант программирования относительно привлекателен лишь для простых систем или небольших фрагментов большой системы, для которых нет стандартных решений (не написан, например, подходящий драйвер) или они не устраивают по тем или иным причинам, например, требуется написать подпрограммы для реализации нестандартных алгоритмов и законов управления, относящихся к разряду особых систем. В любом случае процесс разработки собственного ПО важно упростить, сократить временные и прямые финансовые затраты на разработку и отладку, минимизировать затраты труда программистов, по возможности привлекая к разработке специалистов в области автоматизируемых процессов.

Современный бизнес в IT-области всё более и более сегментируется и специализируется по причине увеличения сложности и дороговизны разработки прикладного ПО. Сама логика развития современного бизнеса в части разработки прикладного ПО для систем управления требует использования всё более развитых инструментальных средств типа SCADA-систем. Разработка современной SCADA-системы требует больших вложений и выполняется в длительные сроки. Поэтому, в большинстве случаев разработчикам ПО информационно-управляющих систем, в частности ПО для АСУТП, целесообразно адаптировать уже готовый, испытанный инструментарий, коим является SCADA универсального назначения.

SCADA предоставляет широкий набор средств программирования для решения задач АСУТП и бизнес-приложений (АСУП), ориентированных на специалистов разной квалификации и профессиональной подготовки.

Возникает вопрос выбора SCADA-системы. Ниже перечислены только некоторые из популярных на зарубежном и российском рынках SCADA-систем, имеющих некоторую поддержку в России (табл. 1.1).

Таблица 1.1

SCADA-системы, имеющие поддержку в России

SCADA-система	Фирма-изготовитель	Страна
Factory-Link	United States-DATA.Co.	США
InTouch	Wonderware	США
Genesis	Iconics	США
RealFlex	BJ-Software-Systems	США
SiteX	Jade-Software	Англия
FIX	Intellution	США
Trace-Mbde	AdAstra	Россия
IGSS	Seven-Technologies	Дания
Image	Технолинк	Россия
RSView	Rockwell-Software.Inc.	США

1.3.1. Основные характеристики SCADA

Существуют, ставшие традиционными, функциональные характеристики SCADA-систем и новые, появившиеся недавно, возможности интеграции и управления (OPC-серверы, расширения реального времени для Windows NT и др.) и компоненты сквозной разработки прикладного программного обеспечения. SCADA закрывают уровень автоматизированных систем, связанный, прежде всего, с получением и визуализацией информации от программируемых контроллеров, распределенных систем сбора данных и управления. Некоторые фирмы-разработчики SCADA успешно решают вопросы интеграции на уровень АСУП – MES и ERP.

Как правило, SCADA состоит из двух частей:

1. среды разработки, где инженер рисует и программирует технологические мнемосхемы;
2. среды исполнения, необходимой для выполнения сконфигурированных мнемосхем в режиме реального времени. Фактически это режим повседневной эксплуатации.

В среде автоматизированной разработки программисту-разработчику предоставляется возможность создания программного обеспечения системы управления без реального программирования.

В силу тех требований, которые предъявляются к SCADA, спектр их функциональных возможностей определен и реализован практически во всех пакетах. Перечислим основные компоненты SCADA-систем, осуществляющие функционирование системы и исполнение алгоритмов управления:

- **Process Visualization.** Отображение информации на экране монитора в понятной для человека форме, визуализация в текстовом или графическом виде: интерактивные мнемосхемы управляемого процесса, графики переменных процесса – тренды, диаграммы и гистограммы. Реализация так называемого человеко-машинного интерфейса (Human Machine Interface – HMI или Man Machine Interface – MMI);

- **Operator Control.** Предоставление оператору возможности вмешиваться в процесс управления, т.е. воздействовать в ручном режиме на органы управления системы посредством функциональных кнопок или сенсорного экрана;
- **Alarm Visualization.** Средства управления и регистрации контроля штатных режимов и нештатных ситуаций: аварийная сигнализация и тревожные сообщения, регистрация времени и даты возникновения аварийных сообщений;
- **Historical Archiving.** Архивирование технологических данных с возможностью их дальнейшей обработки через интерфейсы баз данных, в частности, ведение базы данных реального времени;
- **Access Control and Operator's Actions Archiving.** Контроль доступа и протоколирование действий оператора, основанный на акте приемки-сдачи смены с требованием обязательной авторизации;
- **Automated Reporting.** Средства подготовки и генерирования отчетов о ходе управляемого процесса за произвольный период времени: посменные отчеты, ежемесячные, сводные и т.д.

Кроме вышеперечисленных компонент SCADA-система выполняет следующие функции:

- ✓ сбор первичной информации и выдача управляющих воздействий через устройства нижнего уровня в реальном времени посредством драйверов устройств и OPC-серверов;
- ✓ обработка информации в реальном времени;
- ✓ осуществление горизонтально-сетевого взаимодействия между другими рабочими станциями SCADA-системы;
- ✓ обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронные таблицы, текстовые процессоры и т.д.). В системе управления предприятием такими приложениями чаще всего являются приложения, относимые к уровню MES и ERP.

Основу большинства SCADA-пакетов составляют несколько программных компонентов таких, как управление базами данных реального времени, вводом-выводом, предысторией, аварийными ситуациями, и администраторов – доступа, управления и сообщений.

Следует отметить, что технология проектирования систем управления на основе различных SCADA-систем во многом схожа и включает следующие этапы.

1. Разработка архитектуры системы в целом. На этом этапе определяется функциональное назначение каждого узла системы. Решение вопросов, связанных с возможной поддержкой распределенной архитектуры, необходимостью введения узлов с горячим резервированием и т.п.
2. Создание прикладной системы управления для каждого узла. На этом этапе специалист в области управляемых процессов наполняет узлы архитектуры алгоритмами, совокупность которых позволяет решать поставленные задачи. Приведение параметров прикладной системы в

соответствие с информацией, которой обмениваются устройства нижнего уровня (например, ПЛК, интеллектуальные датчики, модули сбора данных и управления). Отладка созданной прикладной программы в режиме эмуляции технических средств и объекта управления и в реальном режиме функционирования.

Функциональные возможности, реализуемые в конкретной SCADA, в значительной мере определяют стоимость и сроки создания прикладного ПО, а также сроки ее окупаемости.

Аппаратно-программная платформа. Перечень аппаратно-программных платформ, поддерживаемых в SCADA, является очень важной характеристикой, т.к. позволяет оценить возможность распространения SCADA-системы на имеющиеся вычислительные средства, а также оценить стоимость ее эксплуатации (прикладная программа, разработанная в одной операционной среде, может выполняться в любой другой, которую поддерживает выбранный SCADA-пакет). В различных SCADA этот вопрос решен по-разному, так FactoryLink имеет весьма широкий список поддерживаемых программно-аппаратных платформ. В то же время, в таких SCADA-системах, как RealFlex, Genesis и Focus, основу программной платформы принципиально составляет единственная, хотя и удовлетворяющая многим требованиям, операционная система реального времени QNX.

подавляющее большинство SCADA-систем реализовано на платформах MS Windows. Именно такие системы предлагают наиболее полные и легко наращиваемые человеко-машинные интерфейсные средства (Man Machine Interface – MMI). Учитывая продолжающееся усиление позиций Microsoft на рынке операционных систем, следует отметить, что даже разработчики многоплатформных SCADA-систем, такие как United States DATA Co, приоритетным считают дальнейшее развитие своих SCADA-систем именно на платформе Windows NT. Некоторые фирмы, до сих пор поддерживавшие SCADA-системы на базе OSCPВ, начали менять ориентацию, выбирая системы на платформе Windows NT. Все более очевидным становится применение OSCPВ в основном во встраиваемых системах (embedded systems).

Важной особенностью всех SCADA-систем является количество поддерживаемых аппаратных средств: разнообразных ПЛК, модулей сбора данных и управления. Системы InTouch, Factory Link, GENESIS, RealFlex поддерживают десятки и сотни драйверов, что делает их безусловными лидерами по этому показателю.

Сетевая поддержка. Важнейшими функциями SCADA являются возможности и средства сетевой поддержки. В любой системе управления могут быть задействованы объекты управления, исполнительные механизмы, аппаратура, регистрирующая и обрабатывающая информацию, рабочие места операторов, серверы баз данных, ПО верхнего уровня и т.д. Очевидно, что для эффективного функционирования в этой разнородной среде SCADA-система должна обеспечивать высокий уровень сетевого сервиса.

Желательно, чтобы она поддерживала работу в стандартных сетевых средах (Arcnet, Ethernet и т.д.) с использованием стандартных протоколов (NetBIOS, TCP/IP и др.), а также обеспечивала поддержку наиболее популярных сетевых стандартов из класса промышленных интерфейсов (PROFIBUS, CANBUS, LON, MODBUS и т.д.).

Этим требованиям в той или иной степени удовлетворяют практически все рассматриваемые SCADA-системы, с тем только различием, что набор поддерживаемых сетевых интерфейсов, конечно же, разный.

Поддерживаемые базы данных. Практически все SCADA-системы, в частности, Genesis, InTouch используют синтаксис ANSI SQL, который не зависит от типа базы данных. Таким образом, приложения виртуально изолированы, что позволяет менять базу данных без серьезного изменения самой прикладной задачи, создавать независимые программы для анализа информации, использовать уже наработанное программное обеспечение, ориентированное на обработку данных.

Графические возможности. Для специалиста-разработчика системы автоматизации, также как и для специалиста-производственника, чье рабочее место создается в виде АРМа, очень важен графический пользовательский интерфейс (Graphic Users Interface – GUI) и человеко-машинный интерфейс (HMI). Функционально графические интерфейсы SCADA очень похожи. В каждой из них существует графический объектно-ориентированный редактор с определенным набором анимационных функций. Используемая векторная графика дает возможность осуществлять широкий набор операций над выбранным объектом, а также быстро обновлять изображение на экране, используя средства анимации. Крайне важен также вопрос о поддержке в рассматриваемых системах стандартных функций GUI. Поскольку большинство SCADA работают под управлением Windows, это и определяет тип используемого GUI.

Открытость систем. Программная система является открытой, если для нее определены и описаны используемые форматы данных и процедурный интерфейс, что позволяет подключить к ней внешние, независимо разработанные компоненты и модули. Перед фирмами-разработчиками систем управления часто встает вопрос о создании собственных (не предусмотренных в рамках систем SCADA) программных модулей и включение их в создаваемую систему. Поэтому вопрос об открытости системы является важной характеристикой SCADA-систем. Фактически открытость системы означает доступность спецификаций системных вызовов на уровне SCADA, реализующих тот или иной системный сервис. Это может быть доступ и к графическим функциям, и функциям работы с базами данных и т.д.

Все SCADA-системы можно считать в определенной мере открытыми, обеспечивающими возможность дополнения функциями собственной разработки, имеющими открытый протокол для разработки собственных драйверов, развитую сетевую поддержку, возможность включения ActiveX-объектов и доступность к стандартным базам данных.

Средства ввода-вывода. Современные SCADA не ограничивают выбора аппаратуры нижнего уровня, так как предоставляют большой набор драйверов или серверов ввода-вывода и имеют хорошо развитые средства создания собственных программных модулей или драйверов новых устройств нижнего уровня. Сами драйверы разрабатываются с использованием стандартных языков программирования. Вопрос, однако, в том, достаточно ли только спецификаций доступа к ядру системы, поставляемых фирмой-разработчиком в штатном комплекте (система Trace Mode), или для создания драйверов необходимы специальные пакеты (системы FactoryLink, InTouch), или же, вообще, разработку драйвера нужно заказывать у фирмы-разработчика.

Для подсоединения драйверов ввода-вывода к SCADA используются два механизма стандартный динамический обмен данными (Dynamic Data Exchange – DDE) и обмен по внутреннему (известному только фирме разработчику) протоколу. В SCADA основным механизмом, используемым для связи с внешним миром, до сих пор остается механизм DDE. Но из-за своих ограничений по производительности и надежности он не совсем пригоден для обмена информацией в реальном масштабе времени. Взамен DDE компания Microsoft предложила более эффективное и надежное средство передачи данных между процессами OLE (Object Linking and Embedding) – включение и встраивание объектов. Механизм OLE поддерживается в RSView, Fix, InTouch, Factory Link и др. На базе OLE появляется новый стандарт OPC (OLE for Process Control), ориентированный на рынок АСУТП.

Новый стандарт, во-первых, позволяет объединять на уровне объектов различные системы управления и контроля, функционирующие в распределенной гетерогенной среде; во-вторых, устраняет необходимость использования различного нестандартного оборудования и соответствующих коммуникационных программных драйверов. С точки зрения SCADA-систем, появление OPC-серверов означает разработку программных стандартов обмена с различными микропроцессорными устройствами. Поскольку производители полностью разбираются в своих устройствах, то эти спецификации являются для них руководством к разработке соответствующих драйверов. Так как эти программные драйверы уже имеются на рынке, разработчики SCADA-систем предлагают свои механизмы связи с OPC-драйверами. OPC-интерфейс допускает различные варианты обмена: получение сырых данных с физических устройств, из распределенной системы управления или из любого приложения (рис. 1.5). На рынке появились инструментальные пакеты для написания OPC-компонентов, например, OPC-Toolkits фирмы FactorySoft Inc., включающий OPC Server Toolkit, OPC Client Toolkit, примеры OPC-программ.

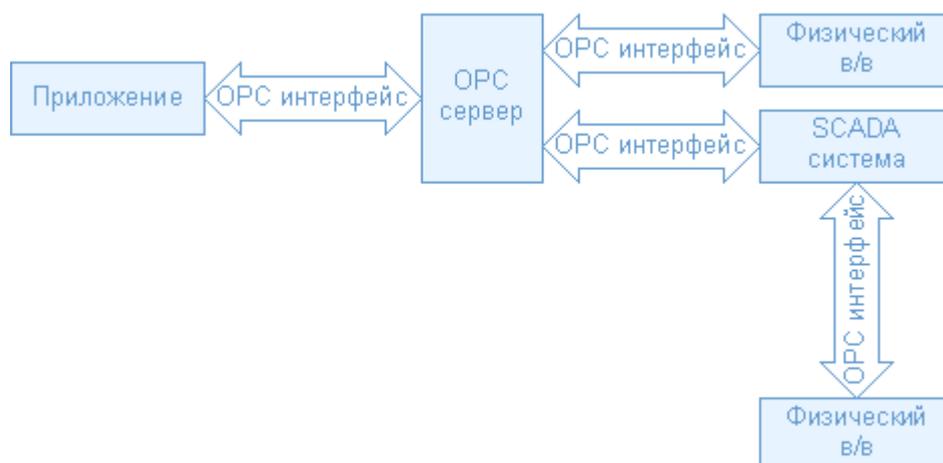


Рис. 1.5. Варианты обмена SCADA-систем с приложениями и физическими устройствами через OPC-интерфейс

Встраиваемые объекты ActiveX. Объекты ActiveX это объекты, в основе которых лежит модель составных объектов Microsoft COM (Component Object Model). Технология COM определяет общую схему взаимодействия компонентов программного обеспечения в среде Windows и предоставляет стандартную инфраструктуру, позволяющую объектам обмениваться данными и функциями между прикладными программами. Большинство SCADA-систем являются контейнерами, которые уведомляются ActiveX о происшедших событиях. Любые ActiveX-объекты могут загружаться в систему разработки большинства SCADA-систем и использоваться при создании прикладных программ. Управление ActiveX-объектами осуществляется с помощью данных, методов и событийных функций, свойственных выбранному объекту.

Многие компании занимаются разработкой драйверов, ActiveX-объектов и другого программного обеспечения для SCADA-систем. Этот факт очень важно оценивать при выборе SCADA-пакета, поскольку это расширяет область применения системы непрофессиональными программистами, т.к. нет необходимости разрабатывать программы с использованием языков C или VBasic.

Реализация задач реального времени. Для реализации вышеуказанных технологий разработаны специальные библиотеки и инструментальные системы для ОС Windows. Использование же только спецификаций стандартов для этого не только достаточно трудоемко, но и требует высокого профессионализма программистов и, следовательно, затруднительно для не-Windows платформ.

Один из существенных недостатков SCADA-систем на платформах Windows по сравнению со SCADA на платформах OSCPВ – отсутствие поддержки реального времени. Ситуация стала изменяться с появлением ОС Windows NT. Выход в свет этой операционной системы стимулировал разработку новых подходов в поддержке реального времени. Прежде всего, сама по себе Windows NT делает весьма успешные попытки потеснить OSCPВ. Тем не менее, Windows NT имеет ряд ограничений. Такие ее особенности, как предпочтение аппаратного прерывания программному (даже если это

простое движение мыши), выполнение в подпрограмме обработки аппаратных прерываний лишь необходимых действий с выполнением последующей обработки через очередь отложенных процедур, отсутствие приоритетной обработки процессов в очереди отложенных процедур, не позволяют отнести Windows NT к категории классических ОСРВ.

Ряд фирм (LP Elektronik, Imagination Systems, RadSys, Spectron Microsystems, VenturCom) предприняли более радикальные попытки превратить Windows NT в операционную систему реального времени. Рассмотрим некоторые ключевые особенности реализации такой идеи на подсистеме реального времени RTX (Real Time Extension), предложенной фирмой Ventur Com. Именно эта реализация получает в настоящее время наиболее широкое распространение. Фирмы-разработчики SCADA незамедлительно начали предлагать применение новых решений. Так, набор прикладных интерфейсов программирования RTX 4.1 (Ventur Com) в FIX позволяет:

- ✓ осуществлять полный контроль над задачами реального времени;
- ✓ использовать фиксированную систему из 128 приоритетов для контроля RTX-задач;
- ✓ применять стандартные средства обмена данными между задачами;
- ✓ обращаться к стандартным функциям из Win32 API.

Следует отметить, что сервис, предоставляемый SCADA-системами на этапе разработки прикладного ПО, обычно очень высок это вытекает из основных требований к таким системам. Почти все они имеют Windows-подобный пользовательский интерфейс, что во многом повышает удобство их использования, как в процессе разработки, так и в период эксплуатации прикладной задачи. Все вышесказанное сделало ОС Windows наиболее поддерживаемой платформой среди производителей SCADA.

Наличие и качество поддержки. Необходимо обращать внимание не только на наличие технической поддержки SCADA-систем, как таковой, но и на ее качество. Для зарубежных систем в России возможны следующие уровни поддержки: услуги фирмы-разработчика; обслуживание региональными представителями фирмы-разработчика; взаимодействие с системными интеграторами. Судя по большому количеству установок зарубежных систем, исчисляющихся в тысячах (InTouch – 80000, Genesis – 30000), можно предположить, что поддержка этих систем достаточно эффективна.

Отечественные системы, несмотря на сравнительно малые количества установок по сравнению с системами ведущих зарубежных фирм (имеется в виду глобальный рынок), создавались и поддерживаются фирмами-разработчиками, содержащими штаты высокопрофессиональных программистов, которые имеют все предпосылки для качественного технического обслуживания своих продуктов. Так, для освоения Trace Mode фирма AdAstra предоставляет полную документацию на русском языке, организует периодические курсы обучения, реализует горячую линию, готова

по заказу внести в систему функциональные изменения или разработать необходимые драйверы.

Русификация. Любая система управления, имеющая интерфейс с оператором, должна допускать возможность общения с человеком на его родном языке. Поэтому крайне важна возможность использования в системе различных шрифтов кириллицы, ввод/вывод системных сообщений на русском языке, перевод документации, различных информационных материалов. Для некоторых систем (Image, Trace Mode, MasterScada) эта проблема вообще отсутствует, так как они разрабатывались отечественными фирмами. Для многих зарубежных продуктов проблема русификации в значительной мере снимается, во всяком случае, для подсистем исполнения (RunTime), если они используют наборы шрифтов Windows. Часть зарубежных систем имеют переводы документации на русский язык (InTouch). Нужна ли русифицированная среда разработки? Положительный ответ не очевиден. Но если да, то среда должна быть обязательно протестирована и рекомендована фирмой-разработчиком. Так как с технической точки зрения проблем с русификацией нет (использование редакторов ресурсов из любой среды разработки Borland C++, Visual C++), то проблема лишь в легитимности этой процедуры.

Интеграция многоуровневых систем автоматизации. SCADA-системы ответственны за получение информации с нижнего уровня управления, т.е. от различных датчиков через устройства сопряжения, от программируемых контроллеров, поставляющих информацию для непосредственного управления производственным процессом. На SCADA-уровне возможно оперативное управление процессом, принятие тактических решений на основе информации, полученной от нижнего уровня. Сам процесс поступления информации происходит и сверху, и снизу. Сверху формируется информация, отвечающая за работу предприятия в целом, осуществляется планирование производства.

Точная, своевременная, достоверная информация на каждом уровне позволяет оценить издержки, качество и конкурентоспособность продукции. Для организации связи между информацией сверху и снизу необходим класс инструментальных средств управления, ответственный за доставку данных в реальном времени с нижнего уровня управления вверх и в обратном направлении, с возможной обработкой этих данных. Поэтому достаточно важным критерием сравнения инструментальных средств, поддерживающих разработку АСУТП, является наличие средств доставки информации со SCADA-уровня вверх, на уровень планирования производства. Ряд фирм (Intellution, Wonderware) предлагает продукты (Fix BOS, InTrack, InBatch), представляющие собой системы управления производством. Основное их назначение заключается в создании прикладных программ, моделирующих и прослеживающих каждую стадию производственных процессов от загрузки сырья до выпуска готовой продукции.

Огромное стратегическое значение имеет то, насколько инструментальные системы АСУТП связаны с Microsoft BackOffice Suite,

поскольку последние стали распространенными офисными программными продуктами. Поэтому, например, все продукты FactorySuite компании Wonderware легко интегрируются с такими продуктами, как Microsoft SQL Server, Windows NT Server, System Management Server, SNA Server и Mail-Server. Фирма Wonderware предлагает IndustrialSQL Server, позволяющий регистрировать данные в реальном времени. Источником данных могут быть InTouch-серверы ввода-вывода. Построен же IndustrialSQL Server на базе Microsoft SQL Server. Это существенно расширяет возможности всего производственного персонала в смысле возможности доступа к полной информации о любом этапе производства.

Все более актуальным становится требование передачи как статической (в определенные моменты времени), так и динамической (постоянно) информации на web-узлы. Наличие в web-браузерах объектов ActiveX позволяют передавать данные из SCADA-системы на web-страницы. Но существуют и более многофункциональные компоненты типа Scout фирмы Wonderware, обеспечивающие возможность доступа к системам автоматизации на базе InTouch через Internet/Intranet и позволяющие удаленному пользователю взаимодействовать с прикладной задачей автоматизации, как с простой WEB-страницей.

Таким образом, по функциональным возможностям все рассмотренные системы в целом примерно сравнимы. Технология программирования близка к интуитивному восприятию управляющего процесса, плюс мощное объектно-ориентированное программирование, используемое в большинстве SCADA-пакетов, делает эти продукты легкими в освоении и доступным для широкого круга пользователей.

1.3.2. Языки программирования SCADA

Основным и наиболее перспективным средством автоматизированного проектирования, поддерживающего языки программирования стандарта МЭК 6-1131/3, являются SCADA-системы. Применение визуальных языков программирования позволяет экономить время разработки и отладки управляющих программ в разы. Построение прикладной системы на основе любой из рассмотренных SCADA-систем резко сокращает набор необходимых знаний в области классического программирования, позволяя концентрировать усилия по освоению знаний в самой прикладной области.

В международный стандарт МЭК 6-1131/3 включены 5 языков программирования:

1. FBD (Function Block Diagram);
2. LD (Ladder Diagram);
3. SFC (Sequential Function Chart);
4. ST (Structured Text);
5. IL (Instruction List).

Данный стандарт разрабатывается с 1993 года Международной Электротехнической Комиссией (International Electrotechnical Commission) и давно признан как в Европе, США, так и во всем мире ведущими

производителями средств управления и автоматизации. Из этих языков три визуальных языка (FBD, SFC, LD), ориентированных на инженеров и бизнес-аналитиков, и два текстовых языка (ST, IL), ориентированных на программистов. С помощью языков МЭК-6 одинаково комфортно программируются и контроллеры, и алгоритмы человеко-машинного интерфейса (HMI) и MES-задачи.

Языки МЭК-6 сочетают в себе достаточную функциональность, простоту и предохраняют пользователя SCADA от большинства ошибок, которые нередко возникают при использовании обычных языков программирования. Реализация языков программирования в современных SCADA-системах не только полностью удовлетворяет требованиям стандарта МЭК 6-1131/3, но и предоставляет пользователю дополнительные сервисы в виде расширенного набора библиотек функциональных блоков, реализующих типовые алгоритмы управления.

Каждая программа обладает набором аргументов, исходные данные передаются в программу через входные аргументы, а результаты вычислений возвращаются в выходных аргументах. Аргументы связываются с атрибутами каналов, т.е. с реальными входами и выходами контроллеров и модулей ввода-вывода, ячейками баз данных, либо с внутренними переменными.

Программирование и отладка программ на языках МЭК-6 производится в интегрированной среде разработки, включающей в себя несколько различных редакторов (рис. 1.6). Программы на языках FBD, LD и SFC создаются и отлаживаются в специальных визуальных редакторах, а ST и IL представляют собой более традиционные языки, программирование на которых осуществляется в текстовом редакторе. Несмотря на различия, программы на разных языках стандарта МЭК-6 могут взаимодействовать между собой. Например, программа на FBD может вызывать функциональный блок, написанный на языке ST, а внутри этого блока может вызываться подпрограмма на языке LD и т.д. Такая гибкость в выборе средств описания алгоритмов позволяет эффективно работать над одной задачей и программисту, и технологу, и инженеру-наладчику и бизнес-консультанту, когда каждый из них выполняет свою часть работы удобным ему способом.

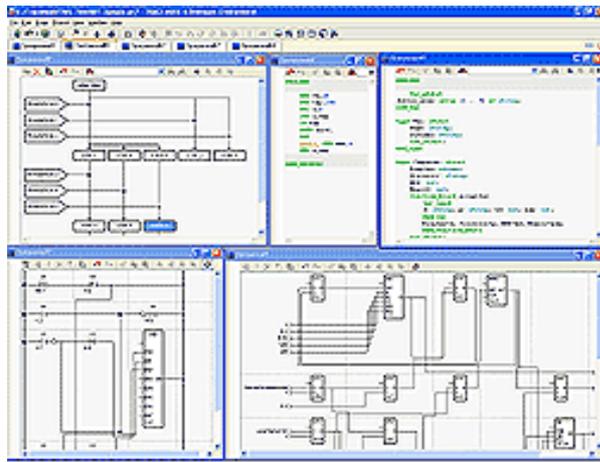


Рис. 1.6. Реализация программы на различных языках программирования стандарта МЭК-6 в SCADA-системе

Язык **FBD** предназначен для инженеров-технологов, решающих задачи управления различными объектами и процессами. Трудно придумать более наглядное средство для программирования контуров управления, представленных в форме передаточных функций. Программа на FBD представляет собой схему, состоящую из набора функциональных блоков, связанных между собой через входы и выходы (рис. 1.7).

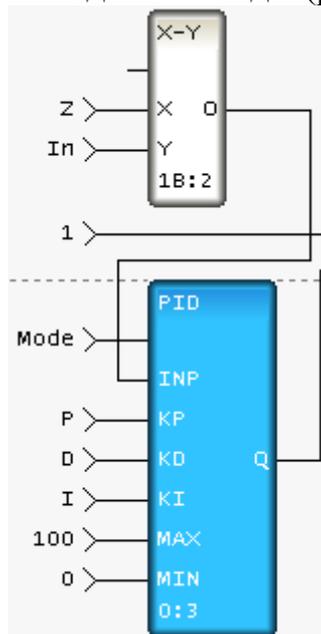


Рис. 1.7. Фрагмент программы на языке FBD

В большинстве SCADA имеется сотни типовых функциональных блоков, реализующих широкий набор функций – от простейших логических операций до готовых законов управления: П, ПИ, ПД, ПИД. Кроме того, реализуются функциональные блоки фильтрации, нейронных сетей, нечеткой логики, нелинейных преобразователей, импульсных модуляторов, а также блоки управления исполнительными устройствами: клапанами, задвижками, двигателями и т.п.

По способу трансляции программы с различных языков стандарта МЭК-6 выделяют интерпретаторы и компиляторы. Интерпретаторы могут

исполнять программу только в составе со своей оболочкой – в SCADA-системе. Применение интерпретаторов имеет ряд недостатков: низкое быстродействие, что не позволяет их использовать в информационно-управляющих системах; остановка выполнения программы при обнаружении ошибки в любом операторе программы, тогда как компилятор выявляет все синтаксические, лексические и семантические ошибки еще на этапе подготовки исполняемого файла; сложность использования программы при реализации ее в ПЛК, т.е. во встроенной системы. Компиляция программы является наиболее удобным способом подготовки и отладки исполняющей программы для ПЛК, так как обычно объем памяти в ПЛК ограничен и не позволяет поместить оболочку SCADA для работы интерпретатора. Применение компиляторов позволяет достичь максимальной производительности обработки информации в реальном времени и высокой надежности.

Некоторые SCADA-систем имеют дополнительно встроенные языки программирования высокого уровня, Си и VBasic-подобные языки, позволяющие создать разработчику собственный модуль, выполняющие какие-то нестандартные функции, например, задача сгенерировать адекватную реакцию на события, связанные с изменением значения переменной, с выполнением некоторого логического условия, с нажатием комбинации клавиш, а также с выполнением некоторого фрагмента с заданной частотой относительно всего приложения или отдельного окна.

1.3.3. Человеко-машинный интерфейс

Одной из важнейших задач АСУТП является организация взаимодействия между человеком и программно-аппаратным комплексом. Обеспечение такого взаимодействия и есть задача человеко-машинного интерфейса (human machine interface – HMI). Очевидно, что чем лучше организован HMI, тем эффективнее цепочка управления “человек – SCADA”.

HMI SCADA-системы должен отвечать современным эргономическим требованиям. Эти требования определяются исследованиями в области проектирования систем «человек-машина», таких как управляемые приборные панели, интерфейсы программных продуктов и т.п. Эргономика изучает действия человека в процессе работы, скорость освоения им новой техники, затраты его энергии, производительность и интенсивность при конкретных видах деятельности. При изучении и создании эффективных управляемых человеком систем, в эргономике используется системный подход. Для оптимизации управляемых человеком систем эргономика использует результаты исследований в психологии, физиологии (особенно нейрофизиологии), гигиены и безопасности труда, социологии, культурологии и многих технических, инженерных и информационных дисциплинах. В последнее время эргономика отходит от классического определения и перестаёт быть строго связана с производственной деятельностью. Определение, принятое Международной Эргономической Ассоциацией (IEA) в 2007 году: «Эргономика — это область приложения

научных знаний о человеке к проектированию предметов, систем и окружений, используемых им».

Существует два подхода по технической реализации функционала НМИ:

1. на базе специализированных рабочих станций оператора (АРМов), устанавливаемых в центральной диспетчерской;
2. на базе панелей локального управления, устанавливаемых непосредственно в цеху по близости к объекту управления.

Иногда эти два варианта комбинируются, чтобы достичь наибольшей гибкости управления. В большинстве случаев рабочие станции устанавливаются централизованно в диспетчерском центре (операторной), охватывающем одну технологическую линию, производственный участок, а иногда и целый цех или даже все производство.

Аппаратно рабочая станция оператора (operator station) представляет собой ни что иное, как персональный компьютер в промышленном исполнении. Как правило, станция снабжается несколькими широкоэкранными мониторами, функциональной клавиатурой и необходимыми сетевыми адаптерами для подключения к сетям (например, на базе Industrial Ethernet).

Эргономические требования человеко-машинного интерфейса определяют не только выбор технических средств, обеспечивающих интерфейс человека-оператора (операторские станции, панели, аппаратные органы управления), но и визуализацию отображения информации на экране монитора в понятной и удобной для человека форме – в виде интерактивных мнемосхем, графиков, гистограмм и т.п.

В графическом режиме визуализация процесса происходит с помощью интерактивных мнемосхем. В текстовом режиме процесс отображается в виде строк или, в лучшем случае, в виде специальных таблиц. Очевидно, что текстовый формат представления данных не достаточно нагляден и информативен, поэтому в настоящее время текстовый режим используется все реже.

Разберем простой пример. На рис. 1.8 приведена абстрактная схема технологического процесса, на которой изображен очень упрощенный вариант операторской мнемосхемы для управления процессом нагрева резервуара (емкости) с водой. Для нагрева воды используется газовая горелка. Интенсивность горения регулируется клапаном подачи газа. Также должен быть насос для закачки воды в резервуар и клапан для спуска воды.

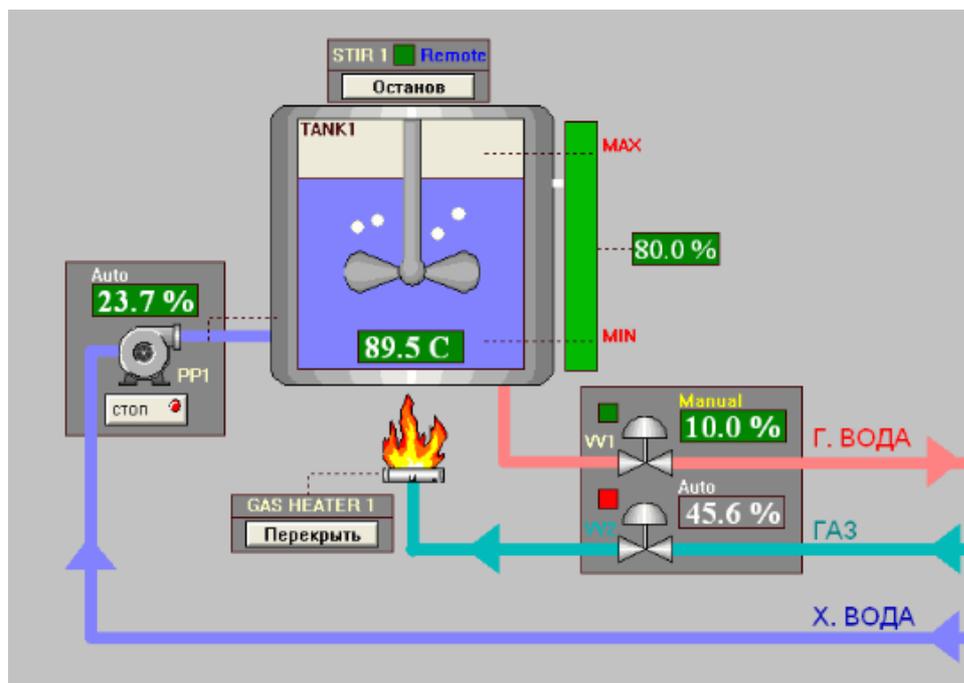


Рис. 1.8. Пример операторской мнемосхемы

На мнемосхеме отображаются основные технологические параметры, такие как: температура воды; уровень воды в резервуаре; работа насосов; состояние клапанов и др. Эти данные обновляются на экране с заданным периодом актуализации. Если какой-либо параметр достигает аварийного значения, соответствующее поле начинает мигать, привлекая внимание оператора.

Сигналы ввода/вывода и исполнительные механизмы отображаются на мнемосхемах в виде интерактивных графических символов – иконок. Каждому типу сигналов и исполнительных механизмов присваивается свой символ: для дискретного сигнала это может быть переключатель, кнопка или лампочка; для аналогового – ползунок, диаграмма или текстовое поле; для моторов и насосов – более сложные фейсплейты (faceplates). Каждый символ, как правило, представляет собой отдельный ActiveX компонент. Вообще технология ActiveX широко используется в SCADA-пакетах, так как позволяет разработчику подгружать дополнительные символы, не входящие в стандартную библиотеку, а также разрабатывать свои собственные графические элементы, используя высокоуровневые языки программирования.

Допустим, оператор хочет включить насос. Для этого он кликает на его иконке и вызывает панель управления (faceplate). На этой панели он может выполнить определенные манипуляции: включить или выключить насос, подтвердить аварийную сигнализацию, перевести его в режим “техобслуживания” и т.д. (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Пример фейсплейта для управления насосом

Оператор также может посмотреть график изменения интересующего его технологического параметра, например, за прошедшую неделю. Для этого ему надо вызвать тренд (trend) и выбрать соответствующий параметр для отображения. Пример тренда реального времени показан на рис. 1.10.



Рис. 1.10. Пример отображения параметров на тренде реального времени

Для более детального обзора сообщений и аварийных сигнализаций оператор может воспользоваться специальной панелью (alarm panel), пример которой изображен на рис. 1.11. Это отсортированный список сигнализаций (alarms), представленный в удобной для восприятия форме. Оператор может подтвердить ту или иную аварийную сигнализацию, применить фильтр или просто ее скрыть.

Time	State	Type	Priority	Name	Group	Value	Limit	Tag Comment
11/15/2008 09:48:51	UNACK	DSC	19	PP1	Tank1	Насос останов.	Насос останов.	Насос P1
11/15/2008 09:48:41	ACK_RTN	DSC	19	PP1	Tank1	Насос пущен	Насос останов.	Насос P1
11/15/2008 09:47:05	ACK_RTN	HI	14	TT1	Tank1	79.4393	85	Темп-ра в T1
11/15/2008 09:46:58	ACK	HI	14	TT1	Tank1	86.9159	85	Темп-ра в T1
11/15/2008 09:46:53	UNACK	HI	14	TT1	Tank1	86.9159	85	Темп-ра в T1
11/15/2008 09:46:46	ACK_RTN	HIHI	19	TLEV1	Tank1	89.7196	95	Уровень в T1
11/15/2008 09:46:41	UNACK	HIHI	19	TLEV1	Tank1	99.0654	95	Уровень в T1
11/15/2008 09:46:37	ACK	DSC	19	PP1	Tank1	Насос останов.	Насос останов.	Насос P1
11/15/2008 09:46:21	UNACK	DSC	19	PP1	Tank1	Насос останов.	Насос останов.	Насос P1
11/15/2008 09:46:18	ACK_RTN	DSC	19	PP1	Tank1	Насос пущен	Насос останов.	Насос P1
11/15/2008 09:43:23	ACK_RTN	HIHI	19	TLEV1	Tank1	71.028	95	Уровень в T1
11/15/2008 09:43:20	ACK_RTN	HI	14	TT1	Tank1	49.5327	85	Темп-ра в T1

Рис. 1.11. Панель сообщений и аварийных сигнализаций

Говоря о SCADA, инженеры часто оперируют таким важным понятием как “тэг” (tag). Тэг является по существу некой переменной программы визуализации и может быть использован как для локального хранения данных внутри программы, так и в качестве ссылки на внешний параметр процесса. Тэги могут быть разных типов, начиная от обычных числовых данных и кончая структурой с множеством полей. Например, один визуализируемый параметр ввода/вывода – это тэг, или функциональный блок ПИД-регулятора, выполняемый внутри контроллера, – это тоже тэг. Ниже представлена упрощенная структура тэга, соответствующего простому ПИД-закону управления: Tag Name = “MyPID”; Tag Type = PID; Fields (список параметров): MyPID.OP MyPID.SP MyPID.PV MyPID.PR MyPID.TI MyPID.DI MyPID.Mode MyPID.RemoteSP MyPID.Alarms и т.д.

В комплексной прикладной программе может быть несколько тысяч тэгов. Производители SCADA-пакетов это знают и поэтому применяют политику лицензирования на основе количества используемых тэгов. Каждая купленная лицензия жестко ограничивает суммарное количество тэгов, которые можно использовать в программе. Очевидно, чем больше тэгов поддерживает лицензия, тем дороже она стоит; так, например, лицензия на 60 000 тэгов может обойтись в \$5000 или даже дороже. В дополнение к этому многие производители SCADA формируют весьма существенную разницу в цене между просто средой исполнения и полноценной средой разработки; естественно, последняя с таким же количеством тэгов будет стоить заметно дороже.

1.4. Основы функционирования ОСРВ

Основным назначением ОСРВ является реализация программного интерфейса POSIX в масштабируемой отказоустойчивой форме, подходящей для широкого круга систем, начиная от небольших встроенных систем управления с ограниченными ресурсами и заканчивая крупными распределенными информационно-управляющими средами [1], [2]. В последнее время наметилась устойчивая тенденция к применению ОСРВ именно для *встраиваемых систем* (Embedded system). Программный комплекс встраиваемой системы работает как составная часть более крупной автоматической системы без участия человека в процессе управления. Встраиваемая система представляет собой совокупность прикладного и системного программного обеспечения и аппаратных средств. При разработке информационно-управляющих систем необходим тщательный анализ соответствия характеристик этих трех компонентов требованиям внешнего объекта управления или мониторинга. Временные характеристики всех трех компонентов системы должны быть хорошо прогнозируемы.

Аппаратная часть информационно-управляющих систем, на которой исполняется ОСРВ и прикладное ПО, является очень специфической (сконфигурированной для решения конкретных задач автоматизации) и называется *целевой платформой* (target). Так как целевая платформа определяется внешним объектом управления и непосредственно связана с

ним, то часто разработка прикладных программ осуществляется на другой аппаратуре и даже, в некоторых случаях, на другой операционной системе, а отладка конечных программ производится либо удаленно с помощью специальных инструментальных средств, либо с помощью эмуляции работы целевой ОСРВ.

1.4.1. Концепция и взаимодействие задач реального времени

В настоящее время обязательным требованием к операционным системам, претендующим на применение в задачах реального времени, является реализация в ней механизмов многозадачности [2]. Но для ОСРВ к реализации механизмов многозадачности предъявляется ряд дополнительных требований, таких как *предсказуемость*.

Многозадачность подразумевает параллельное выполнение нескольких асинхронных действий, темп выполнения которых заранее не известен и определяется в процессе их выполнения. Однако практическая реализация параллельной работы упирается в проблему совместного использования ресурсов вычислительной системы: процессора, памяти, устройств ввода-вывода. Распределением ресурсов между конечным числом задач реального времени называется *планированием* или *диспетчеризацией* (sheduling).

Если в вычислительной системе имеется только один процессор, то по настоящему параллельное выполнение нескольких задач невозможно, так как процессор реализует последовательный принцип переработки информации. Поэтому здесь речь идет лишь о квазипараллельном режиме выполнения задач.

В многопроцессорных системах проблема разделения ресурсов также является актуальной, поскольку несколько процессов вынуждены разделять между собой одну общую шину. При построении информационно-управляющей системы, нуждающейся в одновременном решении нескольких достаточно сложных задач, применяют группы вычислительных комплексов, объединенных общим управлением. Возможность работы с несколькими процессорами в пределах одного вычислительного комплекса и максимально прозрачное взаимодействие между несколькими вычислительными комплексами в пределах, например, локальной сети, является важной чертой современной ОСРВ, значительно расширяющей возможности ее применения.

Под понятием *задачи* в терминах ОСРВ могут пониматься две разные вещи: процессы и потоки. *Процесс* является более масштабным представлением задачи, поскольку обозначает независимый модуль программы (возможно, отдельный исполняемый файл) со своим неразделяемым адресным пространством, банком регистров, выделяемой области памяти для кода и данных, стеком данных.

Поток представляет собой логически завершенную часть исполняемого кода процесса. Каждый процесс содержит как минимум один поток, при этом предельное количество потоков в пределах одного процесса в большинстве ОСРВ ограничено только объемом оперативной памяти микропроцессорной системы.

Потки в пределах одного процесса имеют общие участки памяти кода и данных. Потоки, принадлежащие одному процессу, разделяют его адресное пространство, поэтому взаимодействие между потоками можно организовать не только, например, с помощью обмена сообщениями, но и через разделяемую память. Время переключения между потоками оказывается значительно меньше, чем время переключения между процессами. В связи с этим параллельно выполняемые задачи реального времени стараются максимально компоновать в виде потоков, исполняющихся в пределах одного процесса.

Процесс выполняется в своем адресном пространстве и может взаимодействовать с другими процессами только с использованием *механизма межпроцессного взаимодействия* (IPC – Inter Process Communication). Этот механизм основан на обмене сообщениями, т. е. каждый процесс может передать другому процессу сообщение-запрос и получить от него сообщение-ответ.

В случае реализации распределенной системы управления каждый процесс может функционировать в пределах одного контроллера в единой сети ПЛК. Тогда потоки одного процесса разделяют ресурсы своего контроллера, а обмен сообщениями между процессами производится через сеть.

В некоторых сравнительно простых ОСРВ задачи не разделяются иерархически на процессы и потоки. В литературе, относящейся к таким операционным системам, можно встретить термины «задача» и «процесс», обозначающие одно и то же. В различных реализациях таких операционных систем задачи могут иметь разделяемое адресное пространство или не иметь такового. В последнем случае обмен данными между задачами осуществляется только с помощью сообщений.

Основным механизмом отработки задач реального времени, связанных с внешними асинхронными событиями, является обработка в вычислительной системе аппаратных и программных *прерываний*. Источниками аппаратных прерываний могут служить:

- ✓ прерывание от встроенных таймеров для отсчета интервалов реального времени;
- ✓ прерывание от портов ввода-вывода (например, от последовательных интерфейсов RS-232 или RS-485) для организации взаимодействия между контроллерами и управляющими ЭВМ в вычислительной сети;
- ✓ прерывание от клавиатуры и других устройств ввода оперативной информации для организации человеко-машинного интерфейса;
- ✓ прерывание от аппаратуры контроля сетевого питания для обеспечения безопасности и сохранности данных при нарушениях в системе питания, а также для управления нагрузкой переменного тока, и др.

Программные прерывания могут обеспечивать механизм обмена сообщениями между задачами для осуществления межзадачного взаимодействия.

Использование прерываний задачами осуществляется для синхронизации с аппаратурой и межзадачной синхронизации в виде ожидания события заданного типа с помощью системного вызова `wait()`. Конкретные источники используемых задач прерываний должны быть связаны с этой задачей при ее создании в среде операционной системы. *С каждым источником прерыванием может быть связано не более одной задачи.* Это связывание осуществляется путем указания в начальном дескрипторе задачи всех связанных с ней источников прерывания. В процессе выполнения задачи прерывания могут быть на время заблокированы. Запрещения и разрешения прерываний производятся системными вызовами.

Каждая задача имеет важное свойство, на основании которого ОСРВ принимает решение о том, когда предоставить ему время процессора. Это свойство называется **приоритетом** задачи и выражается целочисленным значением. Количество приоритетов (или уровней приоритета) определяется функциональными возможностями операционной системы, при этом самое низкое значение (0) закрепляется за потоком холостой работы ОС, который предназначен для корректной работы, когда ей «нечего делать». В ОС QNX поток с нулевым уровнем приоритета называется `idle`. С одной стороны большое количество приоритетов повышает гибкость системы, но с другой – работа ОСРВ становится менее прозрачной, и хуже обеспечивается диспетчеризуемость.

Приоритет определяет степень предпочтения задачи по отношению к другим задачам в случае их конкуренции за процессорное время. ОСРВ использует приоритет при решении вопроса о том, какие прерывания должны быть разрешены и запрещены при выполнении процессором каждой конкретной задачи. Разрешаются прерывания, связанные с работающей задачей и со всеми высокоприоритетными по отношению к ней задачами. Запрещаются прерывания, связанные со всеми задачами того же или низшего по отношению к работающей задачи приоритета. Таким образом, работающая задача может быть прервана при возникновении только такого прерывания, которое связано с задачей высшего приоритета, так как только такие прерывания не запрещаются.

Другим важным атрибутом (свойством) задачи является **контекст**. Под контекстом понимается программное окружение задачи: переменные, хранящиеся в локальной (неразделяемой) памяти задачи, состояние регистров задачи, прерывания, с которым связана задача, локальный стек. В некоторых ОСРВ стек может быть общим, в пределах которого каждой задаче лимитируется его объем. Под переключением между задачами понимают как раз переключение контекста, сводящееся, к загрузке регистров процессора и выполнению некоторых действий: загрузка счетчика команд, указателя стека, указателя сегмента памяти, регистров общего назначения; разрешение и запрещение определенных прерываний и др.

Процесс создания прикладной задачи, как начального в среде операционной системы, так и динамического в процессе работы, когда одна

задача создает другую задачу, предполагает наличие в памяти специально структуры данных – начального *дескриптора* (описателя) задачи. В нем указываются статические характеристики задачи, устанавливающие ее идентификатор, связь задачи с источниками прерываний, ее приоритет, стек, набор регистров, выделенный объем локальной памяти и др.

1.4.2. Планирование (диспетчеризация)

Изменение состояния любой задачи реального времени осуществляется под управлением *планировщика* (scheduler), который выполняет переключение контекстов с одной задачи на другую всякий раз, когда активная задача либо блокируется (blocked), либо вытесняется (preempted), либо самостоятельно отдает управление (yields). Наиболее важной задачей диспетчеризации является разделение главного ресурса вычислительной системы – процессора.

Задача может находиться в одном из следующих основных *состояний*: активное, готовность, блокированное (рис. 1.12). Эти состояния определяют, в каком отношении к возможным событиям находится задача.

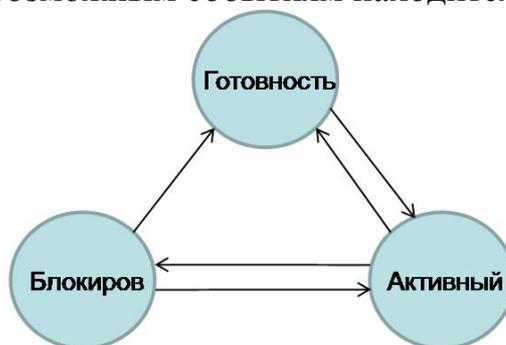


Рис. 1.12. Состояния задач

Активная (работающая) задача – это та задача, которая в данный момент выполняется. В каждый момент времени активной может быть только одна задача, либо ни одна из прикладных задач может не являться активной, тогда активной будет системная задача холостой работы, имеющая нулевой приоритет (для ОС QNX это поток idle). Задача остается в активном состоянии до тех пор, пока не выполнится какое-либо из следующих условий:

- *активная* задача обращается к системному вызову wait(), причем ни одно из ожидаемых событий еще не наступило. В результате *работающая* задача переходит в состояние *блокировки*, а управление передается задаче с наивысшим приоритетом из числа *готовых*. Если в состоянии готовности нет ни одной задачи, то выполняется системная задача холостой работы;
- *работающая* задача посылает сообщение задаче, ожидающей его и имеющей приоритет выше, чем у работающей задаче. Тогда задача, ожидающая сообщение, перейдет из состояния *блокировки* в *активное* состояние, а задача, пославшая сообщение – перейдет из *активного* состояния в состояние *готовности*;

- возникает аппаратное прерывание процессора и имеется задача, ожидающая его. В результате *работающая* задача переходит в состояние *готовности*, а задача, ожидавшая прерывание, перейдет из состояния *блокировки* в *активное* состояние. Последняя задача возобновит свое выполнение с инструкции, следующей за системным вызовом `wait()`.

Задача находится в состоянии *блокировки*, когда она ждет появления события в результате обращения к системному вызову `wait()`, в параметрах которого указывается, наступление какого именно события или каких событий будет ожидать задача. В состоянии *блокировки* задача процессором не выполняется и остается до тех пор, пока либо не наступит ожидаемое событие, либо не истечет максимальное время ожидания (таймаут).

Все не работающие и не заблокированные задачи находятся в состоянии *готовности*. В этом состоянии задачи не выполняются процессором. Задача переходит в это состояние по одной из следующих причин:

- из *активного* состояния при наступлении события, ожидаемого некоторой задачей более высокого приоритета;
- из состояния *блокировки* при наступлении любого из ожидаемых событий, если ожидающая задача имеет приоритет, ниже, чем у работающей.

ОСРВ использует информацию об уровне приоритета задач при решении вопроса о том, какую из *готовых* задач перевести в *активное* состояние. Из числа *готовых* задач выбирают ту, которая имеет наивысший приоритет. Если с наивысшим приоритетом в состоянии *готовности* находится более одной задачи, то среди них выбирается задача без учета приоритета, например, согласно очереди.

Вышеописанные условия перехода задачи из одного состояния в другие относятся к одному из наиболее распространенных способов реализации многозадачности, а именно к *вытесняющей приоритетной многозадачности*, когда работающую задачу вытесняет более приоритетная задача (т. е. происходит перехват управления). При этом весь контекст вытесняемой задачи должен быть сохранен (например, в системном стеке), а контекст вытесняющей задачи – восстановлен.

1.4.3. Средства межпроцессного взаимодействия

Стандарт построения операционных систем реального времени POSIX предусматривает следующие средства межпроцессного взаимодействия:

- ✓ каналы;
- ✓ сигналы;
- ✓ очереди сообщений;
- ✓ семафоры;
- ✓ разделяемые сегменты памяти.

Каналы. Средства локального межпроцессного взаимодействия реализуют высокопроизводительную, детерминированную передачу данных между процессами в пределах одной системы.

К числу наиболее простых и в то же время самых употребительных средств межпроцессного взаимодействия принадлежат каналы, представляемые файлами соответствующего типа. Взаимодействие между процессами через канал может быть установлено следующим образом: один из процессов создает канал и передает другому соответствующий открытый файловый дескриптор. После этого процессы обмениваются данными через канал при помощи функций записи и чтения.

Сигналы. Как и каналы, сигналы являются внешне простым и весьма употребительным средством локального межпроцессного взаимодействия. Согласно стандарту POSIX, под сигналом понимается механизм, с помощью которого процесс или поток управления уведомляют о некотором событии, произошедшем в системе, или подвергают воздействию этого события. Примерами подобных событий могут служить аппаратные исключительные ситуации и специфические действия процессов. Термин "сигнал" используется также для обозначения самого события.

Говорят, что сигнал генерируется (или посылается) для процесса (потока управления), когда происходит вызвавшее его событие, например, выявлен аппаратный сбой, отработал таймер, пользователь ввел с терминала специфическую последовательность символов, и т. п. Иногда по одному событию генерируются сигналы для нескольких процессов, например, для группы процессов, ассоциированных с некоторым управляющим терминалом.

В каждом процессе определены действия, предпринимаемые в ответ на все предусмотренные системой сигналы. Говорят, что сигнал доставлен процессу, когда взято для выполнения действие, соответствующее данным процессу и сигналу.

Сообщения. Механизм обмена сообщениями позволяет процессам взаимодействовать, обмениваясь данными. Данные передаются между процессами дискретными порциями, называемыми сообщениями. Этот механизм является практически единственным при обмене информацией между задачами (процессами) с внешней программной средой в распределенной информационно-управляющей системе через последовательный интерфейс (локальную сеть).

Передача сообщения любой прикладной задаче, а также завершение приема сообщения в буфер последовательного интерфейса (локальной сети) рассматривается в ОСРВ как событие типа «сообщения». Прием сообщения прикладными задачами производится при ожидании этого события с помощью системного вызова `wait()`, т. е. является по сути программным прерыванием.

Передача любого сообщения от одной прикладной задаче к другой производится путем обращения к системному вызову `MsgSend()`. Структура

сообщения ориентирована на использование дисциплины обмена «запрос-ответ». Адресная передача сообщения предполагает двух участников обмена (задач): «источник» и «приемник». Единичный акт обмена складывается из двух этапов: передача сообщения-запроса от источника к приемнику и последующей передачи сообщения-ответа от приемника к источнику. Таким образом, каждый акт обмена начинается по инициативе задачи-источника, которая является клиентом, а задача-приемник – сервером в дисциплине обмена сообщениями.

Задача-клиент, передавшая сообщение-запрос блокируется до тех пор, пока задача-получатель сообщения не выполнит прием сообщения и его обработку, а также не отправит ответное сообщение. Такое автоматическое блокирование обеспечивает синхронизацию отправки и приема сообщений, поскольку запрос на отправку данных также вызывает блокировку задачи-отправителя. Таким образом, очередность выполнения и данные перемещаются непосредственно из одного контекста в другой. Операция отправки запроса является блокирующей в отличие от операции отправки ответа (положительного или сообщения об ошибке), поскольку задача-клиент уже заблокирована для ожидания ответа и дополнительная синхронизация здесь не требуется.

Сообщение-запрос может иметь смысл запроса данных, содержать инициативно передаваемые данные или команду. Сообщение-ответ при этом может содержать запрашиваемые данные, иметь смысл подтверждения получения переданных данных и их достоверности (или выдачи кода ошибки) или исполнения команды.

Семафоры. Согласно определению стандарта POSIX, семафор – это минимальный примитив синхронизации, служащий основой для более сложных механизмов синхронизации, определенных в прикладной программе.

У семафора есть значение, которое представляется положительным целым числом. Для любого семафора можно сделать следующее: увеличить значение, уменьшить значение, дождаться обнуления.

В качестве примера использования семафоров можно рассмотреть известную задачу об обедающих философах. За круглым столом сидит несколько философов. В каждый момент времени каждый из них либо беседует, либо ест. Для еды одновременно требуется две вилки. Поэтому, прежде чем в очередной раз перейти от беседы к приему пищи, философу надо дождаться, пока освободятся обе вилки – слева и справа от него, и взять их в руки. Немного поев, философ кладет вилки на стол и вновь присоединяется к беседе. При разработке программной модели обеда философов – главное – корректная дисциплина захвата и освобождения вилок. В самом деле, если, например, каждый из философов одновременно с другими возьмется за вилку, лежащую слева от него, и будет ждать освобождения правой, обед не завершится никогда.

Разделяемые сегменты памяти. В стандарте POSIX разделяемый объект памяти определяется как объект, представляющий собой память, которая может быть параллельно отображена в адресное пространство более чем одного процесса. Таким образом, процессы могут иметь общие области виртуальной памяти и разделять содержащиеся в них данные. Единицей разделяемой памяти являются сегменты. Разделение памяти обеспечивает наиболее быстрый обмен данными между процессами.

Работа с разделяемой памятью начинается с того, что один из взаимодействующих процессов создает разделяемый сегмент, специфицируя первоначальные права доступа к нему и его размер в байтах.

Чтобы получить доступ к разделяемому сегменту, его нужно присоединить, т. е. разместить сегмент в виртуальном пространстве процесса. После присоединения, в соответствии с правами доступа, процессы могут читать данные из сегмента и записывать их (быть может, синхронизируя свои действия с помощью семафоров). Когда разделяемый сегмент становится ненужным, его следует отсоединить.

Аппарат разделяемых сегментов предоставляет нескольким процессам возможность одновременного доступа к общей области памяти. Обеспечивая корректность доступа, процессы тем или иным способом должны синхронизировать свои действия. В качестве средства синхронизации удобно использовать семафор.

Обновляемая статья о стандарте из энциклопедии Wikipedia, содержит перечень операционных систем поддерживающих полностью или частично стандарт POSIX. Режим доступа: <http://en.wikipedia.org/wiki/POSIX> .

Тема 2. Метрология и стандартизация ИИС

Основной целью изучения данной темы является ознакомление со стандартами информационно-измерительных систем, освоение основ измерения, стандартизации и сертификации ИИС, возникающих погрешностях и методов их учета.

2.1. Правовые основы метрологии и стандартизации

С целью рассмотрения подсистемы управления метрологическим обеспечением информационно-управляющих систем предприятия необходимо определить состав метрологических систем в национальной системе измерений, перечень и содержание международных стандартов ИСО.

Основные цели метрологии – повышения качества продукции, повышение эффективности управления производством и уровня автоматизации, обеспечение достоверного учета материальных ценностей и энергетических ресурсов, повышение конкурентоспособности продукции, в т.ч. на мировом рынке.

Стандартизация (standart – норма, образец) – процесс установления и применения стандартов, заключающийся в сопоставлении объектов стандартизации с нормативным объектом, описанным в ГОСТе.

2.1.1. Состав метрологических систем в национальной системе измерений

Национальная система измерений содержит систему метрологического обеспечения (МО) и систему обеспечения единства измерений (ОЕИ), которые образуют научно-методические и организационно-правовые основы метрологии. Научно-методические основы метрологии базируются на:

- теории обеспечения единства измерений;
- теории измерительных процедур, которые определяют содержание многочисленных методик выполнения измерений (МВИ).

Организационно-правовые основы представлены следующими видами деятельности:

- разработка нормативно-технической документации (НТД);
- функционирование органов метрологического обеспечения и стандартизации;
- повышение квалификации кадров.

В законодательной сфере метрологического обеспечения введен в действие закон РФ «О техническом регулировании». Одной из целей принятия этого закона было следующее: вместо тысяч ГОСТов разработать десятки технических регламентов, которые вобрали бы в себя наиболее важные требования к продукции и процессам производства. Технические регламенты будут являться обязательными для исполнения, их исполнение

будет контролировать государство, а остальные документы будут носить рекомендательный характер.

Содержание этих технических регламентов предполагается ограничить требованиями, обеспечивающими все виды безопасности и единство измерений. Из чего следует вывод, что обеспечение единства измерений остается под контролем государства. Как на практике реализован закон «Об обеспечении единства измерений», следует из многочисленных ныне действующих документов Госстандарта РФ: ГОСТов, методических рекомендаций (МИ) и правил (ПР), образующих нормативную базу метрологического обеспечения (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Нормативная база метрологического обеспечения

Необходимо отметить, что к сфере государственного метрологического контроля относят работу информационных систем, осуществляющих взаимные расчеты между предприятиями.

2.1.2. Основные положения международных стандартов ИСО серии 9000

В стандартах ИСО 9000 обобщен накопленный в мировой практике опыт организации работ по качеству путем создания эффективных систем качества.

Рекомендации стандартов ИСО 9000 используются, однако, не только при создании систем качества, но и как критерии для оценки систем качества при их сертификации и при заключении контрактов, когда заказчики проверяют возможности поставщиков обеспечить стабильность требуемого качества продукции.

Поэтому после того, как в 1987 году международной организацией по стандартизации (ISO – ИСО) были разработаны и опубликованы стандарты серии 9000, предприятия стремятся организовать работу по качеству с учетом рекомендаций этих стандартов.

Разработчик этих стандартов – ИСО – это всемирная федерация национальных органов по стандартизации (комитетов – членов ИСО), основанная в 1947 году, членами которой в 1996 году были 119

национальных организаций. Комитетом – членом ИСО от России является Госстандарт РФ. Центральный секретариат ИСО находится в Женеве.

Основная цель ИСО – международная координация работ по стандартизации и унификации промышленных стандартов.

В сферу деятельности ИСО входят все области стандартизации, за исключением электротехники и электроники, что по соглашению является сферой деятельности Международной электротехнической комиссии (ИЕС-МЭК). Результаты технической деятельности ИСО публикуются в форме международных стандартов.

Разработка стандартов осуществляется техническими комитетами, в работе которых принимают участие около 20 тысяч специалистов.

Появление стандартов ИСО 9000 явилось логическим результатом развития управления качеством.

В первой редакции, вышедшей в 1987 году, в серию ИСО 9000 входило пять стандартов:

Стандарт ИСО 9000 – общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества – вводный стандарт, дающий основные понятия и руководящие указания по выбору и применению остальных стандартов.

Три стандарта с моделями систем качества для разных вариантов производственного процесса:

Стандарт ИСО 9001 – модель для обеспечения качества при проектировании и/или разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

Стандарт ИСО 9002 – модель для обеспечения качества при производстве и монтаже.

Стандарт ИСО 9003 – модель для обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях.

Пятым стандартом был **стандарт ИСО 9004** – Общее руководство качеством и элементы систем качества, в котором было приведено описание всех элементов, рекомендуемых для применения в зависимости от варианта производственного процесса.

Новая серия ИСО 9000 включает в себя стандарт под общим названием «Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества», состоящий из четырех частей, каждая из которых представляет собой руководящие указания по выбору и применению других стандартов, а именно:

Стандарт ИСО 9000-1 – руководящие указания по выбору и применению.

Стандарт ИСО 9000-2 – общие руководящие указания по применению стандартов ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003.

Стандарт ИСО 9000-3 – руководящие указания по применению ИСО 9001 при разработке, поставке и обслуживании программного обеспечения.

Стандарт ИСО 9000-4 – руководство по управлению программой обеспечения надежности.

Далее в серию вошли три незначительно измененных прежних стандарта ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003 с разными моделями систем качества:

Стандарт ИСО 9001:1994 – модель для обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

Стандарт ИСО 9002:1994 – модель для обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании.

Стандарт ИСО 9003:1994 – модель для обеспечения качества при контроле и испытаниях готовой продукции.

Основное содержание стандартов ИСО 9000 – это рекомендации, содержащие виды деятельности (функции, элементы системы качества), которые целесообразно внедрить на предприятиях, чтобы организовать эффективную работу по качеству. Полный перечень рекомендуемых элементов систем качества приведен в таблице, приложенной к стандарту ИСО 9000-1.

В эту таблицу включены следующие элементы:

1. **Ответственность руководства**, предусматривающая обязанность руководства предприятия определить политику и цели в области качества, а также обязанность создавать и внедрять систему качества, а также - руководить ею.

2. **Система качества** – элемент, обязывающий поставщика разработать, документально оформить и поддерживать в рабочем состоянии систему качества как средство для обеспечения соответствия продукции установленным требованиям. При этом должны быть разработаны все необходимые процедуры необходимые для выполнения функции системы качества и общее описание системы качества - Руководство по качеству.

3. **Анализ контракта** – элемент, который обязывает поставщика до заключения контракта оценить свою способность выполнить его, а в процессе выполнения - регулярно проверять и документально подтверждать достижение требуемых контрактом характеристик.

4. **Управление проектированием**, в результате которого должен устанавливаться и подтверждаться в проекте уровень качества продукции, соответствующий запросам потребителей и требованиям законодательства по безопасности и защите окружающей среды. При этом должны быть предусмотрены критерии оценки проекта, проводиться анализ и проверка проекта по завершении определенных стадий проектирования, а также - утверждение проекта после его разработки.

5. **Управление документацией и данными** – для установления порядка разработки, утверждения, выпуска и изменения всех необходимых документов.

7. **Закупки**, при которых основное внимание обращается на выбор квалифицированных субподрядчиков и входной контроль качества покупных изделий и материалов.

8. Управление продукцией, поставляемой потребителям. Этот элемент должен предусматривать возможность поставщика обеспечить проверку, хранение и техническое обслуживание продукции потребителя при ее использовании в производстве.

9. Идентификация продукции и прослеживаемость. Этот весьма важный элемент необходим для создания уверенности в том, что в процессе производства используются требуемые материалы и покупные изделия, для чего их качество должно быть подтверждено соответствующими документами. Изготавливаемые детали и узлы также должны иметь сопроводительные документы и необходимую маркировку для установления их принадлежности к тому или иному изделию.

10. Управление процессами с целью соблюдения требований конструкторской документации при изготовлении продукции путем создания управляемых условий. Для этого необходима разработка технологии производства, применение необходимого оборудования и контроль за выполнением установленных параметров производственного процесса и достижением требуемых характеристик продукции.

10. Контроль и проведение испытаний, в результате чего определяется достигнутый уровень качества и оценивается его соответствие тому уровню, который был заложен в конструкторской документации. При этом предусматривается входной контроль материалов и покупных изделий, контроль и испытания в процессе производства и окончательный контроль и испытания с оформлением соответствующих протоколов.

11. Управление контрольным, измерительным и испытательным оборудованием, без чего невозможна объективная оценка качества продукции. Здесь должно быть предусмотрено: установление необходимых измерений и их точность; идентификация, калибровка и поверка оборудования, а также – обеспечение требуемых условий его сохранности.

12. Статус контроля и испытаний. Этот элемент требует поддержания определенного уровня контроля и испытаний: проведение контроля и испытаний аттестованным оборудованием, подготовленными специалистами с помощью проверенных и откалиброванных средств измерений, чтобы можно было доверять полученным результатам.

13. Управление несоответствующей продукцией, устанавливающее правила использования изделий с отступлениями от документации или порядок изоляции окончательно забракованных изделий с тем, чтобы гарантировать, что в изготавливаемой продукции нет деталей, узлов или материалов, не соответствующих установленным требованиям. При этом должно быть предусмотрено своевременное обнаружение, изъятие и изоляция брака.

14. Корректирующие и предупреждающие действия, необходимые для устранения дефектов и предупреждения их повторения путем устранения причин их появления.

15. Погрузочно-разгрузочные работы, хранение, упаковка, консервация и поставка. Эти элементы системы качества предназначены для обеспечения

поставщиком сохранности продукции вплоть до ее поставки потребителю.

16. *Управление регистрацией данных о качестве.* Здесь требуется иметь установленный порядок сбора, систематизации, ведения, хранения и предоставления потребителю данных о качестве для подтверждения соответствия продукции установленным требованиям и эффективности системы качества.

17. *Внутренние проверки качества,* позволяющие регулярно контролировать выполнение функций (элементов) системы качества и соблюдение соответствующих нормативных документов. При этом должны составляться планы проверок и протоколироваться их результаты, а сами проверки должны проводиться персоналом, не несущим непосредственную ответственность за проверяемую деятельность.

18. *Подготовка кадров* – для обеспечения требуемой квалификации персонала.

19. *Техническое обслуживание.* Необходимость обслуживания определяется в зависимости от установленных требований.

20. *Статистические методы.* Поставщик должен определить потребности в статистических методах, применяемых при разработке, управлении процессами и оценке характеристик продукции. При этом должны быть установлены соответствующие процедуры их применения.

2.1.3. Управление метрологическим обеспечением

Организация эффективной работы по обеспечению качества на предприятии тесно связана с функционированием метрологической службы, схема процедуры управления которой представлена на рис. 2.2.

Входными данными для выполнения процедуры определения измерений являются параметры процессов. После того, как сформирован состав контролируемых и измеряемых параметров и определены показатели точности, выполняется процедура выбора методов и средств измерений, контроля и испытаний. Применение этих средств и методов включает получение и интерпретацию информации, а также процедуру периодических проверок всех применяемых технических средств: проверку и калибровку средств измерений, аттестацию испытательного и контрольного оборудования.

Результаты используют при анализе качества, выработке корректирующих воздействий. Обратную связь в системе метрологического обеспечения выполняют оценки правильности выбора состава и точности измерений, контроля и испытаний. Таким образом, сущность управления метрологическим обеспечением состоит в обосновании, постоянном анализе и поддержании достаточности применяемых технических средств и методов измерений, контроля и испытаний и системы подтверждения характеристик технических средств.



Рис. 2.2. Процедуры управления контрольным, измерительным и испытательным оборудованием

2.2. Средства измерений

С целью определения основных средств измерения, предназначенных для контроля разнородной ИИС, необходимо рассмотреть состав СИ, регламентируемых ГОСТ 8.009-84.

Технические средства, которые имеют нормированные погрешности, называются средствами измерений, к ним относятся:

- **мера** – средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера (гири, концевые меры длины, эталонные гири и т.п.);
- **измерительный преобразователь** – это средство измерения, которое служит для преобразования сигнала измерительной информации в форму, удобную для обработки и хранения, передачи и визуализации;
- **измерительный прибор** – это средство измерения, позволяющую получать измерительную информацию в удобной форме;
- **измерительная установка или система** – это средство измерения, это совокупность средств измерений, объединенных по функциональному признаку, обычно автоматизированы;
- **измерительные принадлежности** (вспомогательные средства измерения). Измерительные принадлежности вносят дополнительные погрешности в результаты измерений. Они необходимы для вычисления поправок к основным средствам (например, термометр – вспомогательное средство, если показания

основного прибора зависят от значения температуры и могут быть скорректированы по этому значению).

Средство измерений – средство, предназначенное для измерений, вырабатывающее сигнал (показание), несущий информацию о значении измеряемой величины, или воспроизводящее величину заданного (известного) размера. Средства измерений – это меры, компараторы, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные системы.

Информативный параметр входного сигнала средства измерений – параметр входного сигнала, функционально связанный с измеряемой величиной и используемый для передачи ее значения (для промежуточных измерительных преобразователей и вторичных показывающих и регистрирующих приборов) или являющийся самой измеряемой величиной (для первичных преобразователей).

Информативный параметр выходного сигнала средства измерений – параметр выходного сигнала, функционально связанный с информативным параметром входного сигнала измерительного преобразователя или показывающего (регистрирующего) измерительного прибора и используемый для передачи или индикации значения информативного параметра входного сигнала или являющийся выходной величиной меры.

Неинформативный параметр входного сигнала средства измерений – параметр входного сигнала, не используемый для передачи значения измеряемой величины (является одним из видов влияющих величин).

Неинформативный параметр выходного сигнала средства измерений – параметр выходного сигнала, не используемый для передачи или индикации значения информативного параметра входного сигнала измерительного преобразователя или не являющийся выходной величиной меры.

Метрологическая служба – совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства (Закон РФ). Различают понятие «Государственная метрологическая служба», «метрологическая служба Государственных органов управления РФ» и «метрологические службы юридических лиц».

Проверка средств измерения – совокупность операций, выполняемых органами Государственной метрологической службы с целью определения и подтверждения соответствия средств измерения установленным техническим требованиям в соответствии с законом РФ.

Среди главных функций измерений:

- ✓ учет продукции, исчисляющейся по массе, длине, объему, расходу, мощности, энергии;
- ✓ измерения, проводимые для контроля и управления технологическими процессами (в автоматизированном производстве), для обеспечения нормального функционирования транспорта и связи;

- ✓ измерения физических величин, технических параметров, состава и свойств веществ, проводимые при научных исследованиях, испытаниях и контроле продукции.

В России производится свыше 200 млрд измерений, свыше 4 млн человек заняты в области метрологии и измерений. Доля затрат на измерения составляет 10-15% затрат общественного труда, а стоимость этих работ – до 4% величины ВВП. Число средств измерений растет в промышленно развитых странах прямо пропорционально квадрату прироста промышленной продукции. В настоящее время в России насчитывается более 1,5 млрд средств измерений.

2.2.1. Меры и эталоны

Как следует из определения средства измерения (СИ), меры это средство, воспроизводящее величину заданного (известного) размера. Существуют следующие меры:

- однозначные меры, которые воспроизводят величину одного размера (например, гиря);
- многозначные меры, которые воспроизводят несколько размеров физической величины (линейка – см, мм);
- магазин мер – сочетание мер, объединенных конструктивно в одно целое (например, магазин сопротивлений);
- стандартный образец – это однозначная мера, аттестованная проба вещества (материала).

Меры являются основой для *системы воспроизведения единиц физических величин*, что составляет техническую базу обеспечения единства средств измерений страны [3]. Воспроизведение единиц физических величин сводится к измерительной процедуре, она состоит в сравнении неизвестного размера с известным, соответствующим единицы Международной системы SI.

Воспроизведение единицы физической величины представляет собой совокупность операций по материализации единицы физической величины с наивысшей в стране точностью с помощью Государственного эталона или исходного рабочего эталона. Централизованное воспроизведение единиц осуществляется с помощью технических средств, коими являются эталоны.

Официально утверждены в качестве исходных следующие *эталон*ы:

- ✓ *первичный* – обладает наивысшей точностью в стране (в мире), это уникальное средство измерения (измерительный комплекс);
- ✓ *специальный* – обеспечивает воспроизведение единиц физической величины в особых условиях;
- ✓ *вторичный* – эталон, получивший размер единицы путем сличения с первичным эталоном этой единицы; представляют собой совокупность рабочих эталонов различных разрядов (1-4).

Основные требования к эталонам:

- 1) неизменность (способность долго удерживать размер единицы);

- 2) воспроизводимость (способность воспроизводить единицы с наименьшей погрешностью);
- 3) сличимость (способность не претерпевать изменений и не вносить искажений при проведении сличения).

Государственные эталоны являются национальным достоянием, хранятся в метрологических институтах и специальных эталонных помещениях со строгим режимом по влажности, температуре, уровню вибрации и др. Эталонная база России представлена 117 Государственными эталонами, 250 вторичными эталонами, 70 установками высшей точности 8000 Государственными стандартными образцами (рабочими эталонами).

Систему можно представить в виде пирамиды, вершину которой занимает Государственный эталон величины; от основания к вершине пирамиды погрешности уменьшаются, растет стоимость эталона, снижается тираж изготовления (рис. 2.3). Рабочие средства измерения обладают различной точностью. Наиболее точные получают при поверке размера от рабочих эталонов 1-го разряда, наименее точные – от эталонов низшего разряда (3-го или 4-го). На каждой ступени передачи информации о размере единицы точность теряется в 3-5 раз. Значит, при многоступенчатой передаче точность может не доходить до потребителя. Следовательно, для высокоточных средств измерения, число ступеней передачи размера единицы должно сокращаться до рабочих эталонов 1-го разряда.

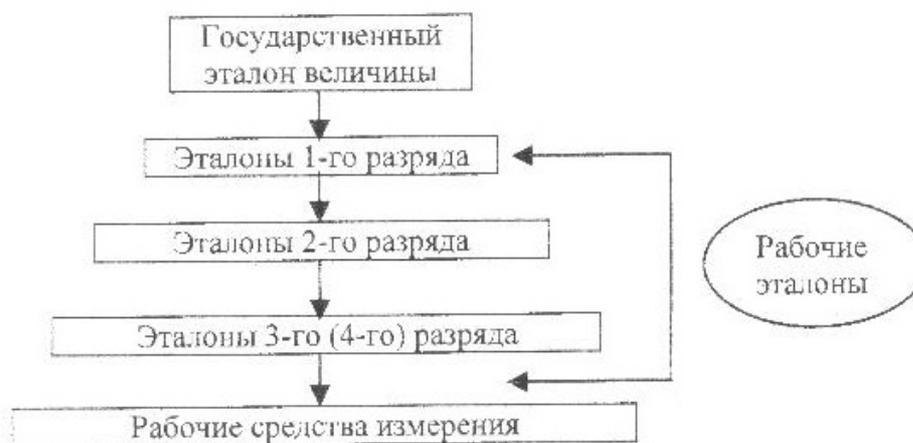


Рис. 2.3. Система передачи размера единицы величины

Для сличения с эталонами используют два метода:

- ✓ непосредственное сличение (применяется в случае технической осуществимости метода, для менее точных средств измерения);
- ✓ компарирующее устройство (приборы сравнения – образцовые весы уравновешивающего типа, мосты постоянного и переменного токов и др.).

Документы, устанавливающие правила передачи размера единицы от эталона к данным средствам измерения, называются **поверочными схемами средств измерений**.

2.2.2. Измерительные преобразователи: АЦП и ЦАП

Измерительный преобразователь – это элемент измерительного, сигнального, регистрирующего устройства, преобразующий контролируемую величину в электрический сигнал.

Функция преобразования измерительного преобразователя – зависимость информативного параметра выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра его входного сигнала.

Рассматривают номинальную, индивидуальную и истинную функции измерительного преобразователя.

Номинальная функция преобразования измерительного преобразователя – функция преобразования, принимаемая для любого экземпляра измерительного преобразователя данного типа и устанавливаемая в НТД на данный тип измерительного преобразователя. Используют в пределах рабочих условий применения для определения значения информативного параметра входного сигнала измерительного преобразователя по известному значению информативного параметра его выходного сигнала (или наоборот) в тех случаях, когда, данные о метрологических характеристиках измерительного преобразователя получают из НТД на данный тип измерительного преобразователя.

Индивидуальная функция преобразования измерительного преобразователя – функция преобразования, принимаемая для конкретного экземпляра измерительного преобразователя и устанавливаемая, как правило, путем экспериментального исследования этого конкретного экземпляра при определенных значениях влияющих величин. Индивидуальную функцию преобразования используют в условиях, установленных для нее, в тех случаях, когда данные о метрологических характеристиках измерительного преобразователя получают путем непосредственного экспериментального исследования конкретного экземпляра измерительного преобразователя.

Истинная функция преобразования измерительного преобразователя – функция совершенным образом отражающая зависимость информативного параметра выходного сигнала конкретного экземпляра измерительного преобразователя от информативного параметра его входного сигнала в тех условиях и в тот момент времени, когда функцию определяют.

Примечание.

1. Истинная функция преобразования представляет собой идеальное понятие и, в общем, не может быть известна.
2. Индивидуальная функция преобразования должна, по возможности, приближаться к истинной функции преобразования.

В ИИС и ИУС аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование необходимы для помехозащищенной передачи информации, для формирования и обработки данных, а устройства, реализующие указанные преобразования относятся к классу измерительных преобразователей (ИП).

По виду входных и выходных величин ИП рассматривают:

- **аналого-цифровые преобразователи (АЦП)**, предназначенные для преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой код;
- **цифроаналоговые преобразователи (ЦАП)**, предназначенные для преобразования цифрового кода в аналоговую величину.

Обозначения в структурных схемах и статические характеристики АЦП и ЦАП показаны на рис. 2.4. В качестве входных (для ЦАП) и выходных (для АЦП) кодов, как правило, используются параллельные двоичные коды. Входной (для АЦП) и выходной для ЦАП величиной чаще всего является напряжение u .

Уравнение преобразования идеального однополярного ЦАП:

$$u = \frac{U_m}{2^R - 1} N_{10} = \frac{U_m}{2^R - 1} (a_{r-1} \cdot 2^{R-1} + a_{r-2} \cdot 2^{R-2} + a_0 \cdot 2^0),$$

где R – разрядность ЦАП; U_m – максимальное выходное напряжение ЦАП; N_{10} – значение входного кода в десятичной системе исчисления; a_i – коэффициенты, которые могут принимать значения, равные нулю или единице. Из уравнения видно, что квант напряжения на выходе ЦАП, называемый **единицей младшего разряда (ЕМР)**, равен $U_m/(2^R - 1)$.

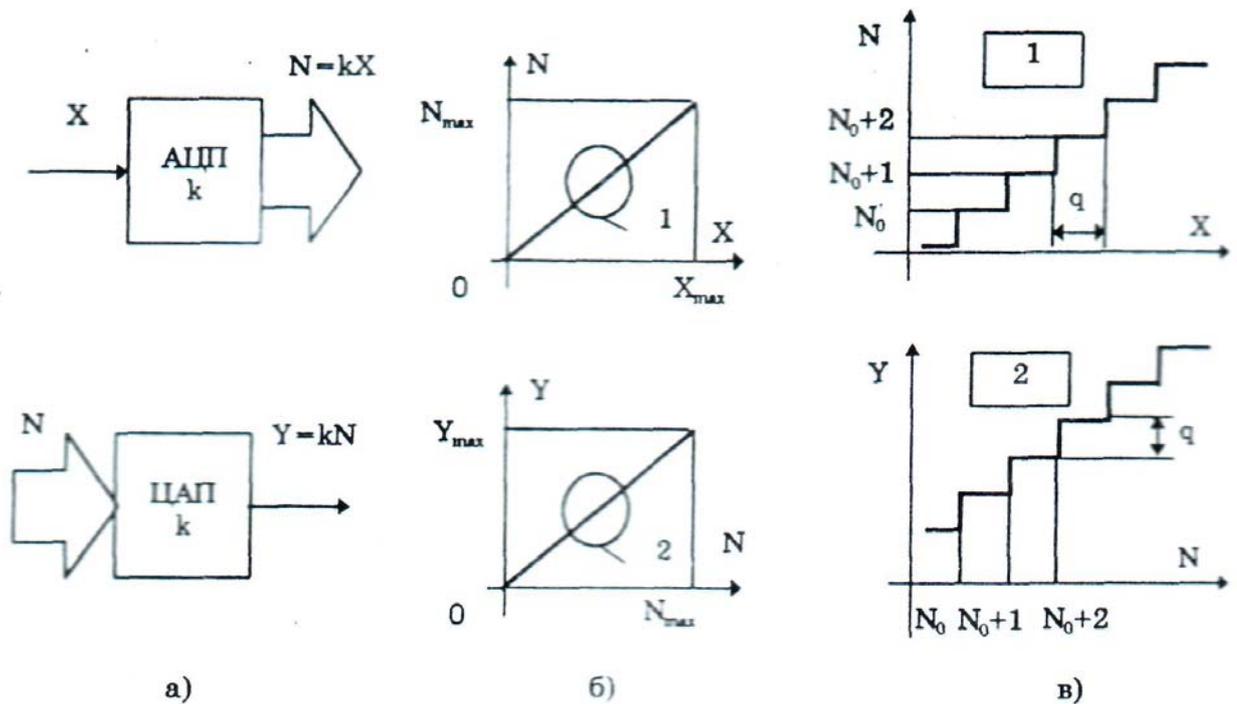


Рис. 2.4. Обозначения в структурных схемах (а), статические характеристики (б) и их части (в) в увеличенном масштабе

Уравнение преобразования идеального однополярного АЦП записывается в виде:

$$N_{10} = \text{int} \left[\frac{u}{U_m} 2^R - 1 \right],$$

где $\text{int}[X]$ – функция, выделяющая целую часть величины X . Минимальное изменение напряжения на входе АЦП, которое приводит к изменению выходного кода, называемое *разрешающей способностью*, равно $U_m/(2^R-1)$.

2.2.3. Измерительные приборы

В современных системах сбора информации преимущественно применяются цифровые измерительные приборы.

Цифровые приборы – это приборы, принцип действия которых основан на квантовании измеряемой или пропорциональной ей величины. Показания таких приборов представлены в цифровой форме. Наличие операции квантования приводит к появлению у цифровых приборов специфических свойств, обуславливающих существенные различия в методах выбора, анализа, описания и нормирования метрологических характеристик, по сравнению с аналоговыми приборами.

В процессе квантования бесконечному множеству значений измеряемой величины ставится в соответствие конечное и счетное множество возможных показаний цифрового прибора. Их число определяется схемой аналого-цифрового преобразователя, выполняющего в цифровом приборе операцию квантования. Одновременно с квантованием, как правило, осуществляется дискретизация по времени измерительных сигналов.

Структурная схема цифрового прибора показана на рис. 2.5. Измеряемая физическая величина X воздействует на первичный измерительный преобразователь (ПП), имеющий коэффициент преобразования $K_{пп}$. Он преобразует величину X в электрический сигнал, в качестве которого используется главным образом напряжение. В рассматриваемом случае $u = K_{пп}X$. Это напряжение в свою очередь поступает на масштабный измерительный преобразователь, необходимый для изменения пределов измерения цифрового прибора. Он может иметь разное число диапазонов измерения: от 1 до $N_{п}$. Диапазон изменения измеряемой величины X разбивается на $N_{п}$ поддиапазонов: $X_{1\text{min}}, \dots, X_{1\text{max}}, X_{2\text{min}}, \dots, X_{2\text{max}}$ – минимальные и максимальные точки i -го диапазона измерений.

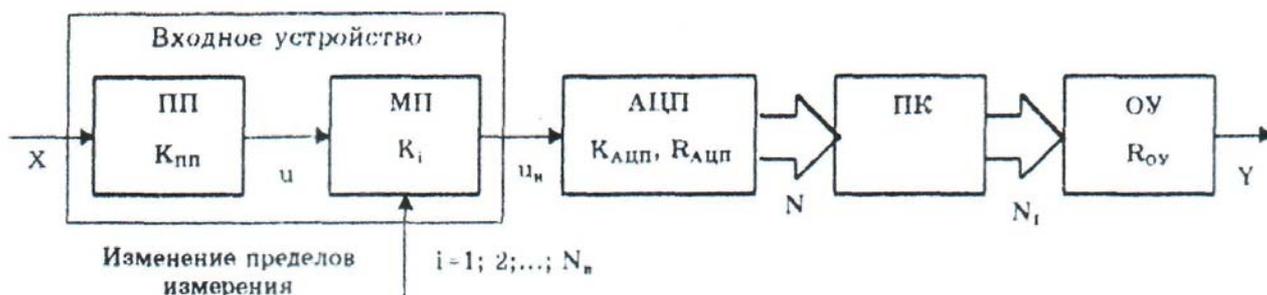


Рис. 2.5. Обобщенная структурная схема цифрового измерительного прибора

Нормированное напряжение $u_H - K_{ПП}K_iX$ преобразует АЦП в цифровой код N , имеющий разрядность $R_{АЦП}$. АЦП выполняется однопредельным, рассчитанным на один фиксированный диапазон изменения входного сигнала u_H .

При использовании двоичного цифрового кода максимальное число возможных выходных кодовых комбинаций $M=2^{R_{АЦП}}-1$.

Уравнение преобразования АЦП в общем случае имеет вид:

$$N = \text{int}\left(\frac{u_H}{q}\right) = \text{int}\left[\frac{K_{ПП}K_iX}{q}\right].$$

Полученный двоичный цифровой код поступает на преобразователь кодов (ПК). Он необходим для преобразования выходного цифрового кода АЦП в код, "понимаемый" цифровым отсчетным устройством (ОУ). Наиболее частым в практике является преобразование двоичного кода в двоично-десятичный. Числа, представляемые кодами N и N_1 , в точности равны друг другу, отличаются только формами представления, и поэтому в дальнейшем рассмотрении будем оперировать кодом N .

Цифровые ОУ выполняются в виде цифровых табло, дисплеев, основанных на различных физических принципах. Они преобразуют код в показания СИ, понятные человеку.

Важной характеристикой ОУ является его *разрядность* – число полных десятичных разрядов, которые индицируются цифрами от 0 до 9. Цифровые ОУ, позволяющие индицировать еще один дополнительный разряд, но не полностью, называются отсчетными устройствами с расширенным диапазоном измерений. Их разрядность обозначается в виде $(R_{Oy})_{1/2}$. Это означает, что устройство имеет R_{Oy} полных разрядов и один неполный. В нем, как правило, может индицироваться только 0 или 1.

Разрядность ОУ определяет разрешающую способность цифрового прибора, выражаемую в значении (ЕМР) показаний прибора.

$$EMR = \frac{X_{i\max}}{10^{R_{Oy}}}; \quad EMR = \frac{X_{i\max}}{2 \cdot 10^{R_{Oy}} - 1},$$

где $X_{i\max}$ – максимальное значение измеряемой величины X на i -м диапазоне измерения.

В соответствии с уравнением преобразования АЦП функция преобразования цифрового прибора, связывающая измеряемую величину X с показаниями Y , представленными в единицах величины X , имеет вид:

$$Y = q_{Xi}N = q_{Xi} \text{int}\left[\frac{K_{ПП}K_iX}{q}\right] = q_{Xi} \text{int}\left(\frac{X}{q_{Xi}}\right),$$

где $q_{Xi}=q/(K_{\text{ин}}K_i)$ – номинальная ступень квантования (квант) измеряемой величины X на i -м диапазоне измерения. Размерность кванта q_{Xi} равна размерности X , а его величина определяет предельно достижимую точность измерения данным цифровым прибором.

Размер номинальной ступени квантования q_{Xi} зависит от того, на каком диапазоне производится измерение. Квант q_{Xi} определяется значениями крайних точек диапазона измерения и максимальным числом возможных выходных кодовых комбинаций M :

$$q_{Xi} = \text{int} \left(\frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{M} \right) = \text{int} \left(\frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{2^{R_{\text{АПЧ}}} - 1} \right),$$

Размер номинальной ступени квантования на i -м диапазоне измерения обычно выбирается равным единице младшего разряда этого диапазона.

2.3. Метрологические характеристики и погрешности средств измерений

С целью определения метрологических характеристик погрешностей средств измерения, необходимо рассмотреть их назначение, классификацию, обозначения по ГОСТ 8.009-84, методику оценки составляющих погрешностей при их расчете по экспериментальным данным.

При использовании СИ принципиально важно знать степень соответствия информации о измеряемой величине, содержащейся в выходном сигнале, ее истинному значению. С этой целью для каждого СИ вводятся и нормируются определенные метрологические характеристики (МХ).

Метрологические характеристики – это характеристики свойств средства измерений, оказывающие влияние на результат измерения и его погрешности.

Метрологические характеристики СИ позволяют:

- определять результаты измерений и рассчитывать оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерения в реальных условиях применения СИ;
- рассчитывать МХ каналов измерительных систем, состоящих из ряда средств измерений с известными МХ;
- производить оптимальный выбор СИ, обеспечивающих требуемое качество измерений при известных условиях их применения;
- сравнивать СИ различных типов с учетом условий применения.

Класс точности средств измерений – это обобщенная характеристика СИ (ГОСТ 13600-86), определяемая пределами допускаемых погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность. Значения этих пределов устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ. Классы точности характеризуют свойства средств измерений, но не являются непосредственными показателями точности измерений, выполняемых с помощью этих средств (например, класс точности вольтметра – 0,01 – характеризует его наибольшую допускаемую основную погрешность,

равную 0,01%, или допускаемые изменения показаний, вызванные отклонением параметров окружающей среды, источника питания и т.д.).

2.3.1. Классификация погрешностей СИ

Типовые характеристики погрешностей, предназначенные для определения результатов измерений представляют в виде номинальных характеристик средств измерения.

Для конкретных экземпляров СИ, предназначенных для применения с одной или несколькими индивидуальными характеристиками, представляют граничные характеристики, в которых должна находиться индивидуальная характеристика при предусмотренных условиях применения СИ.

Согласно ГОСТ 8.009-84 рассматривают следующие погрешности средств измерений:

- инструментальную;
- основную;
- систематическую;
- дополнительную;
- погрешность средства измерений в интервале влияющих величин;
- динамическую.

Метрологические характеристики средства измерений – характеристики свойств средства измерений, оказывающих влияние на результаты и погрешности измерений, предназначенные для оценки технического уровня и качества средства измерений, для определения результатов измерений и расчетной оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерений.

Инструментальная составляющая погрешности измерений – составляющая погрешности измерений, обусловленная свойствами применяемых средств измерений.

Основная погрешность средства измерения обусловлена неидеальностью средства измерений, т.е. отличием действительной функции преобразования средства измерений в нормальных условиях от номинальной функции преобразования. *Основная и дополнительная погрешности* – это статическая погрешность средства измерения.

Систематическая составляющая погрешности средства измерений – составляющая погрешности данного экземпляра средства измерений, при одном и том же значении измеряемой или воспроизводимой величины и неизменных условиях применения средства измерений, остающаяся постоянной или изменяющаяся настолько медленно, что с изменениями за время проведения измерения можно пренебречь, или изменяющаяся по определенному закону, если условия изменяются.

Дополнительная погрешность средства измерений – разность (без учета знака) между значением погрешности, соответствующим некоторому заданному значению влияющей величины в пределах рабочих условий

применения, и значением погрешности, соответствующим нормальному значению влияющей величины.

Погрешность средства измерений в интервале влияющей величины – погрешность измерений в условиях, когда одна из влияющих величин принимает любые значения в рабочей области ее значений, а остальные влияющие величины находятся в пределах, соответствующих нормальным условиям.

Примечание. Погрешность средства измерений в интервале влияющей величины не является дополнительной погрешностью, поскольку последняя обусловлена только отличием значения влияющей величины от нормального значения.

Случайная составляющая погрешности средства измерений – случайная составляющая погрешности средства измерений, обусловленная только свойствами самого средства измерений; представляет собой центрированную случайную величину или центрированный случайный процесс.

Случайная составляющая погрешности от гистерезиса средства измерений – случайная составляющая погрешности средства измерений, обусловленная различием (если оно имеет место) функций преобразования данного экземпляра измерительного преобразователя или различием зависимостей показаний данного экземпляра измерительного (регистрирующего) прибора от информативного параметра входного сигнала при разных направлениях изменений информативного параметра входного сигнала, а также направлением и скоростью изменения информативного параметра входного сигнала.

2.3.2. Обозначение величин погрешностей и оценка результатов эксперимента

Введем следующие обозначения погрешностей средств измерений (СИ):

$f(x)$ – функция преобразования ИП;

Y – значение меры;

Δ – погрешность конкретного экземпляра средства измерений;

$\tilde{\Delta}$ – оценка погрешности конкретного экземпляра средства измерений;

Δ_s – систематическая составляющая погрешности конкретного экземпляра средства измерений;

$\overset{0}{\Delta}$ – случайная составляющая погрешности конкретного экземпляра средства измерений;

Δ_0 – основная погрешность средства измерений;

Δ_{os} – систематическая составляющая основной погрешности;

Δ_c – дополнительная погрешность СИ;

Δ_{st} – статическая погрешность СИ;

Δ_{dyn} – динамическая погрешность СИ;

Δ_{instr} – инструментальная погрешность СИ;

$\bar{\Delta}'$ – среднее значение погрешности СИ в точке X диапазона измерений, полученное экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра входного сигнала при подходах со стороны меньших значений;

$\bar{\Delta}''$ – среднее значение погрешности СИ в точке X диапазона измерений, полученное экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра входного сигнала со стороны больших значений;

$\dot{\Delta}_o$ – случайная составляющая основной погрешности;

$\sigma[\Delta]$ – среднеквадратическое отклонение погрешности СИ данного типа;

$\tilde{\sigma}[\Delta]$ – оценка среднеквадратического отклонения погрешности СИ данного типа;

H – вариация выходного сигнала конкретного экземпляра средства измерений;

$h(t)$ – переходная характеристика средства измерений;

$w(t)$ – импульсная переходная характеристика средства измерений;

$W(s)$ – передаточная функция средства измерений;

$W(j\omega)$ – комплексная передаточная функция (амплитудно-фазовая частотная характеристика) средства измерений;

$A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика средства измерений (АЧХ);

$\varphi(\omega)$ – фазочастотная характеристика средства измерений (ФЧХ);

t_T – время реакции средства измерений; t_d – погрешность датирования отсчета АЦП или ЦАП;

Y_{dam} – коэффициент демпфирования средства измерений;

T – постоянная времени средства измерений;

ω_0 – значение резонансной круговой частоты средства измерений;

f_{max} – максимальная частота (скорость) измерений;

$M[\Delta]$ – математическое ожидание систематической составляющей погрешности средств измерений данного типа.

Пусть имеются реализации погрешности Δ'_i (при подходе снизу) и Δ''_i (при подходе сверху).

Определяются центры группирования:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_1^n \Delta'_i ;$$

$$\bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_i^n \Delta''_i .$$

Определяются центрированные реализации в каждой группе:

$$\dot{\Delta}'_i = \Delta'_i - \bar{\Delta}' ; \dot{\Delta}''_i = \Delta''_i - \bar{\Delta}'' .$$

Центрированные реализации считаются принадлежащими к одной генеральной совокупности и обозначаются через Δ'_i где $i=1, 2, \dots, 2n$.

Определяется оценка систематической составляющей основной погрешности:

$$\tilde{\Delta}_{os} = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2}.$$

Определяется оценка среднеквадратического значения случайной составляющей основной погрешности:

$$\sigma_{\tilde{\Delta}_0} = +\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{2n} \Delta_i^2}{2n-1}}.$$

2.3.3. Динамические характеристики СИ

1. *Динамическая характеристика средства измерений* – МХ свойств средства измерения, проявляющихся в том, что на выходной сигнал этого средства измерений влияют значения входного сигнала и любые изменения этих значений во времени.

2. *Полная динамическая характеристика средства измерений* – динамическая характеристика, полностью описывающая принятую математическую модель динамических свойств средства измерений. Описание может быть математическим, графическим и т.п.

3. *Частная динамическая характеристика средства измерений* – функционал или параметр полной динамической характеристики средства измерений.

4. *Номинальная динамическая характеристика средств измерений* – динамическая характеристика, устанавливаемая в НТД на данный тип средств измерений и принимаемая для любого экземпляра средства измерений данного типа. Используют в пределах рабочих условий применения для оценки динамической составляющей погрешности средств измерений в тех случаях, когда данные о МХ получают из НТД на данный тип средств измерений.

5. *Индивидуальная динамическая характеристика средства измерений* – динамическая характеристика, принимаемая для конкретного экземпляра средства измерений и устанавливаемая, как правило, путем экспериментального исследования этого экземпляра средства измерений при определенных значениях влияющих величин.

6. *Нормируемые граничные динамические характеристики средств измерений* – указываемые в НТД границы области, в которой должна находиться динамическая характеристика любого средства измерений данного типа.

7. *Переходная характеристика средства измерений* – временная характеристика средства измерений, полученная при ступенчатом изменении входного сигнала, $h(t) = \int_0^t w(\tau) d\tau$.

8. *Импульсная переходная характеристика средства измерений* – временная характеристика средства измерений, получаемая в результате

приложения ко входу средства измерений входного сигнала в виде дельта-функции (функции Дирака).

$$w(t) = \frac{dh(t)}{dt}.$$

9. **Комплексная частотная характеристика средства измерений** – зависящее от круговой частоты отношение преобразования Лапласа (при $s \rightarrow j\omega$ или преобразования Фурье) выходного сигнала линейного средства измерений к преобразованию Лапласа (при $s \rightarrow j\omega$ или преобразования Фурье) его входного сигнала при нулевых начальных условиях.

$$W(j\omega) = L[w(t)]; w(t) = L^{-1}[W(j\omega)].$$

10. **Амплитудно-частотная характеристика средства измерений** – зависящее от круговой частоты отношение амплитуды выходного сигнала линейного средства измерений в установившемся режиме к амплитуде входного синусоидального сигнала.

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}; A(\omega) – \text{АЧХ}; \varphi(\omega) – \text{ФЧХ}.$$

11. **Передаточная функция средства измерений** – отношение преобразования Лапласа выходного сигнала линейного средства измерений к преобразованию Лапласа входного сигнала при нулевых начальных условиях.

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}.$$

12. **Временная характеристика средства измерений** – динамическая характеристика, являющаяся функцией времени и описывающая изменение выходного сигнала средства измерений во времени при воздействии на входе средства измерений, принятом за типовое.

Время реакции средства измерений:

- ✓ для показывающего измерительного прибора – время установления показаний;
- ✓ для измерительного преобразователя – время установления выходного сигнала;
- ✓ для цифро-аналогового преобразователя или многозначной управляемой меры – время, прошедшее с момента подачи управляющего сигнала до момента, начиная с которого выходной сигнал преобразователя или меры отличается от установившегося значения не более чем на заданное значение;
- ✓ для аналого-цифрового преобразователя или цифрового измерительного прибора – время, прошедшее с момента скачкообразного изменения измеряемой величины в сторону возрастания и одновременной подачи сигнала запуска до момента, начиная с которого показания цифрового прибора или выходной код аналого-цифрового преобразователя отличаются от установившегося

показания или установившегося выходного кода на значение, не превышающее заданного.

Полные динамические характеристики и испытательные входные сигналы для их непосредственного измерения приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Полные динамические характеристики

<i>Наименование характеристики</i>	<i>Способ определения</i>	<i>Испытательный входной сигнал средства измерений для непосредственного измерения</i>
1. Переходная характеристика	Непосредственное измерение	Ступенчатый входной сигнал
2. Амплитудно-частотная характеристика	Непосредственное измерение. Является полной динамической характеристикой только для минимально фазовых средств измерений	Синусоидальный входной сигнал
3. Амплитудно-фазовая характеристика	Непосредственное измерение с использованием приборов для измерения амплитуды и фазы синусоидальных сигналов	
	Вычисление по другим непосредственно измеримым полным динамическим характеристикам	-
4. Импульсная переходная характеристика	Непосредственное измерение при подаче на вход импульсного сигнала достаточно малой длительности	Импульсный сигнал достаточно малой длительности
	Вычисление по другим непосредственно измеримым полным динамическим характеристикам	-
5. Передаточная функция	Вычисление по другим непосредственно измеримым полным динамическим характеристикам	-

2.4. Метрологическое обеспечение ИИС

Главная цель в организации всех измерений – сопоставимые результаты измерений одних и тех же объектов, выполненных в разное

время, в разных местах, с помощью разных методов и средств. На обеспечение этой цели направлена деятельность всех метрологических служб. Они опираются на законы, стандарты, нормы и правила в области метрологии. Формой обеспечения единства измерений является Государственный метрологический контроль и надзор.

Осуществляется три вида контроля:

- утверждение типа – сертификация СИ;
- поверка (калибровка) СИ;
- лицензирование деятельности по изготовлению, наладке, калибровке, ремонту СИ. В настоящее время функция лицензирования деятельности передана от Государственных метрологических служб в профильные саморегулируемые организации (СРО).

Рассмотрим особенности метрологического обеспечения измерительных систем, являющихся разновидностью средств измерений, поэтому на них распространяются, в частности, общие требования к СИ.

С точки зрения метрологии наибольший интерес представляют информационные каналы (ИК) измерительных систем, так как именно в ИК возникает значительная часть погрешностей, присущей всей системе. Метрологическое обеспечение информационно-измерительных каналов ИИС, регламентируется ГОСТ Р 8.596-2002 «Метрологическое обеспечение измерительных систем» и другими нормативными документами.

Метрологическое обеспечение измерительных систем включает в себя следующие *виды деятельности*:

- нормирование, расчет метрологических характеристик измерительных каналов;
- метрологическая экспертиза технической документации (ТУ, КД и т.д.);
- испытания измерительных систем с целью утверждения типа и испытания на соответствие утвержденному типу;
- утверждение типа (сертификация);
- поверка и калибровка;
- метрологический надзор за выпуском, монтажом, наладкой, состоянием и применением.

2.4.1. Основные определения измерительных систем

Измерительная система – совокупность измерительных, связующих, вычислительных компонентов, образующих измерительные каналы, и вспомогательных устройств (компонентов измерительной системы), функционирующих как единое целое, предназначенная для:

- получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных преобразований в общем случае множества изменяющихся во времени и распределенных в пространстве величин, характеризующих это

состояние;

- машинной обработки результатов измерений;
- регистрации и индикации результатов измерений и результатов их машинной обработки;
- преобразования этих данных в выходные сигналы системы в разных целях.

Примечание – средства измерения обладают основными признаками средств измерений и являются их разновидностью.

Измерительный канал измерительной системы – конструктивно или функционально выделяемая часть ИИС, выполняющая законченную функцию от восприятия измеряемой величины до получения результата ее измерений, выражаемого числом или соответствующим ему кодом, или до получения аналогового сигнала, один из параметров которого – функция измеряемой величины.

Компонент измерительной системы – входящее в состав ИИС техническое устройство, выполняющее одну из функций, предусмотренных процессом измерений.

Примечание. В соответствии с этими функциями компоненты подразделяют на измерительные, связующие, вычислительные, комплексные и вспомогательные.

Измерительный компонент измерительной системы – средство измерений, для которого отдельно нормированы метрологические характеристики, например, измерительный преобразователь модуль аналогового ввода-вывода, измерительный коммутатор, искробезопасный барьер, аналоговый фильтр и т. п.), мера.

Примечание. К измерительным компонентам относят и так называемые аналоговые «вычислительные» устройства, выполняющие по существу не вычисления (операции над числами), а измерительные преобразования. Такие устройства относят к группе аналоговых функциональных преобразователей

Связующий компонент измерительной системы – техническое устройство или часть окружающей среды, предназначенное или используемое для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине от одного компонента ИИС к другому (проводная линия связи, радиоканал, телефонная линия связи, а также переходные устройства - клеммные колодки, кабельные разъемы и т. п.).

Вычислительный компонент измерительной системы – цифровое вычислительное устройство (или его часть) с программным обеспечением, выполняющее вычисления результатов прямых, косвенных, совместных или совокупных измерений (выражаемых числом или соответствующим ему кодом) по результатам первичных измерительных преобразований в ИИС, а также логические операции и управление работой ИИС.

Примечание. В отдельных случаях вычислительный компонент может входить в состав измерительного компонента, метрологические

характеристики которого нормированы с учетом программы, реализуемой вычислительным компонентом.

Комплексный компонент измерительной системы – конструктивно объединенная или территориально локализованная совокупность компонентов, составляющая часть ИИС, завершающая, как правило, измерительные преобразования, вычислительные и логические операции, предусмотренные процессом измерений и алгоритмами обработки результатов измерений в иных целях, а также выработки выходных сигналов системы.

Примечания.

1. Комплексный компонент – это вторичная часть ИИС, воспринимающая, как правило, сигналы от первичных измерительных преобразователей.
2. Примерами комплексных компонентов ИИС могут служить контроллеры, программно-технические комплексы, блоки удаленного ввода-вывода и т. п.
3. Комплексный компонент ИИС, а также некоторые измерительные и связующие компоненты ИИС могут представлять собой многоканальные устройства. В этом случае различают измерительные каналы указанных компонентов.

Вспомогательный компонент измерительной системы – техническое устройство (блок питания, система вентиляции, устройства, обеспечивающие удобство управления и эксплуатации СИ и т.п.), обеспечивающее нормальное функционирование измерительной системы, но не участвующее непосредственно в измерительных преобразованиях.

2.4.2. Метрологические характеристики ИИС

Рассматривают следующие типы измерительных систем:

- выпускаемые изготовителем как законченные укомплектованные (за исключением, в ряде случаев, линий связи и электронных вычислительных машин) изделия, для установки которых на месте эксплуатации достаточно указаний, приведенных в эксплуатационной документации, в которой нормированы метрологические характеристики измерительных каналов системы (ИИС-1);
- проектируемые для конкретных объектов (группы типовых объектов) из компонентов ИИС, выпускаемых, как правило, различными изготовителями, и принимаемые как законченные изделия непосредственно на объекте эксплуатации. Установку таких ИИС на месте эксплуатации осуществляют в соответствии с проектной документацией на ИИС и эксплуатационной документацией на ее компоненты, в которой нормированы метрологические характеристики соответственно измерительных каналов ИИС и ее компонентов (далее – ИИС-2).

Необходимым условием для метрологического обеспечения ИИС является наличие в технической документации исчерпывающего перечня измерительных каналов ИИС и их метрологических характеристик.

Описание измерительных каналов включает указание мест соединения компонентов ИИС, между которыми определяют измерительный канал, описание состава измерительных каналов и описание алгоритма обработки промежуточных результатов измерений в измерительных каналах для получения конечного результата измерений. Метрологическими характеристиками ИИС называются такие характеристики ее свойств, которые оказывают влияние на результаты измерений и их погрешности. При выборе метрологических характеристик на стадии метрологической экспертизы ИИС исходят из анализа измерительных задач, выполняемых ИИС, а также из структурного представления системы. В частности, в системе выделяется структурная единица – измерительный канал (ИК), который представляет цепочку последовательно соединенных измерительных и преобразующих элементов (датчиков, нормирующих преобразователей, измерительных приборов, коммутаторов и т.п.), участвующих в преобразовании входного сигнала в выходной. Сущность и содержание метрологических характеристик определяются сущностью и содержанием решаемых ИИС измерительных задач, поэтому методы их регламентации и определения выбираются в зависимости от назначения и условий функционирования ИИС. Для каждого из измерительных каналов выбирают, определяют и нормируют свои метрологические характеристики.

Для измерительных каналов ИИС-2 в проектной документации в качестве метрологических характеристик каждого измерительного канала допускается нормировать характеристики погрешности по ГОСТ 8.009 при нормальных условиях эксплуатации измерительных компонентов и при рабочих условиях эксплуатации, определяемых таким сочетанием влияющих величин, при которых характеристики погрешности измерительного канала имеют по абсолютной величине (по модулю) наибольшее значение. Рекомендуется также нормировать характеристики погрешностей измерительного канала для промежуточных сочетаний влияющих величин. Указанные значения характеристик погрешности измерительных каналов следует подтверждать их расчетом по метрологическим и другим характеристикам компонентов измерительной системы, образующих измерительный канал. Нормированные метрологические характеристики комплексных и измерительных компонентов должны обеспечивать:

- расчет характеристик погрешности измерительных каналов ИИС в рабочих условиях эксплуатации по нормированным метрологическим характеристикам компонентов;

- контроль указанных компонентов при испытаниях для целей утверждения типа и поверке на соответствие нормированным метрологическим характеристикам.

Для программ, реализуемых вычислительным компонентом ИИС, если свойства этих программ не учтены при нормировании метрологических характеристик соответствующих измерительных компонентов, нормируют характеристики погрешности вычислений, обусловленной алгоритмом вычислений и его программной реализацией, а при необходимости также и другие характеристики с учетом особенностей вычислительного компонента,

которые влияют на характеристики составляющей погрешности измерительного канала, вносимой программой обработки результатов измерений. Эксплуатационная (проектная) документация на ИИС должна содержать такое описание алгоритма и реализующей его программы или метода имитационного моделирования, которое позволяло бы определить характеристики погрешности результата прямых, косвенных, совокупных или совместных измерений по характеристикам погрешности той части измерительных каналов измерительной системы, которая предшествует вычислительному компоненту.

Для связующих компонентов ИИС нормируют такие характеристики, которые либо обеспечивают пренебрежимо малое значение составляющей погрешности измерительного канала, вносимой связующим компонентом, либо позволяют определить значение этой составляющей.

Комплекс метрологических характеристик для конкретных измерительных каналов ИИС, определяемых экспериментально либо расчетным путем по метрологическим характеристикам компонентов, определенным экспериментально, выбирается из общего перечня метрологических характеристик так, чтобы соблюдались принципы, перечисленные ранее. Перечень метрологических характеристик измерительных каналов ИИС, определяемых экспериментально или расчетно-экспериментально, приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2.

Метрологические характеристики ИК ИИС,
определяемые экспериментально или расчетно-экспериментально.

№ п/п	Метрологические характеристики, определяемые экспериментально или расчетно-экспериментально
1.	Градуировочная характеристика
2.	Таблица поправок для ИК, заканчивающегося показывающим или регистрирующим измерительным прибором, шкала которого градуирована в единицах входного сигнала
3.	Характеристики систематической составляющей погрешности: верхняя $\Delta_{св}$ и нижняя $\Delta_{сн}$, границы не исключенной систематической составляющей погрешности ИК ИИС
4.	Характеристики случайной составляющей погрешности: среднее квадратическое отклонение $\sigma(\Delta)$, его доверительные границы и др.
5.	Характеристики погрешности ИК ИИС: верхняя $\Delta_{в}$ и нижняя $\Delta_{н}$ границы погрешности и др. МХ рекомендуется применять только для таких ИК, случайная составляющая погрешности которых существенно меньше не исключенной систематической составляющей погрешности. При необходимости может определяться наибольшее изменение погрешности за заданный интервал времени
6.	Характеристики, отражающие взаимодействие ИК ИИС с объектом измерений, и погрешности их экспериментального определения
7.	Выходное полное электрическое сопротивление $Z_{вых}$ ИК, заканчивающегося измерительным преобразователем, и погрешность его экспериментального

	определения. Предназначены только для измерительного преобразователя
8.	Неинформативные параметры выходного сигнала ИК, заканчивающегося измерительным преобразователем, и погрешность их экспериментального определения. Предназначены только для измерительного преобразователя
9.	Динамические характеристики ИК ИИС: а) функция связи между изменяющимися во времени входным и выходным сигналами (передаточная функция, импульсная переходная функция, переходная характеристика, амплитудно-фазовая характеристика и т.п.) и погрешность ее экспериментального определения; б) время установления показаний или выходного сигнала ИК и погрешность его экспериментального определения; в) любые характеристики, позволяющие установить связь изменяющихся входного и выходного сигналов для ИК, которые не могут даже приближенно считаться линейными, и погрешность их экспериментального определения
10.	Функция влияния ИК ИИС и погрешность ее экспериментального определения
11.	Динамические функции влияния ИК ИИС: а) функция связи между изменяющейся во времени влияющей величиной и выходным сигналом или погрешностью ИК (передаточная функция, импульсная переходная функция, переходная характеристика, амплитудно-фазовая характеристика и т.п.) и погрешность ее экспериментального определения; б) время установления показаний или выходного сигнала ИК при заданном характере изменения влияющей величины во времени и погрешность его экспериментального определения; в) любые характеристики, позволяющие установить связь между изменяющейся во времени влияющей величиной и выходным сигналом или погрешностью ИК, и погрешность их экспериментального определения. Динамическая функция влияния определяется для ИИС, подвергающихся воздействию резко изменяющихся влияющих величин, приводящему к переходным процессам в измерительных цепях ИИС, существенно влияющим на погрешность измерений, проводимых ИИС. Для конкретного измерительного канала динамическая характеристика выбирается с учетом практической возможности ее экспериментального определения

2.4.3. Определение и контроль метрологических характеристик ИК ИИС

Контроль и определение МХ ИК ИИС осуществляется в целях проверки качества разработки, изготовления, монтажа и наладки ИИС в части соблюдения метрологических требований, а также проверки сохраняемости метрологических свойств ИИС в процессе эксплуатации.

Контроль и определение метрологических характеристик осуществляются *экспериментально* «сквозным методом», т.е. путем подачи на вход канала измерения образцового сигнала (имитирующего измеряемую величину) и снятия его выходного сигнала (результата измерения). Полученные в ходе эксперимента значения метрологических характеристик служат непосредственно в качестве определяемых либо сравниваются с нормированными значениями (контроль метрологических характеристик).

Если эксперимент проводится в конкретно реализовавшихся условиях применения СИ, отличных от тех (обычно нормальных), при которых нормировались или определялись метрологические характеристики каналов, то полученные в

процессе эксперимента значения характеристик сравниваются с их расчетными значениями, вычисленными для тех же условий по нормированным или определенным метрологическим характеристикам компонентов, входящих в состав ИК. Описанный метод наиболее применим для ИИС-1.

Расчетно-экспериментальный способ получения значений метрологических характеристик применяется в тех случаях, когда для измерительных каналов не выполняются условия применения «сквозного метода». Способ состоит в следующем. В измерительном канале выделяется такая его часть, состоящая из компонентов (или их совокупности) с нормированными или определенными экспериментально метрологическими характеристиками, для которой применим «сквозной метод» контроля или определения ее характеристик (доступная часть). Желательно, чтобы в доступную часть канала входило как можно большее число его компонентов, чтобы по возможности охватить линии связи, нормирующие и функциональные преобразователи, устройства связи с объектом, вычислительное устройство.

Для современных ИИС в качестве такой доступной части целесообразно использовать каналы комплексных компонентов (измерительных комплексов), на основе которых создаются ИИС. Осуществляется контроль или определение метрологических характеристик доступной части канала. Вычисляются значения метрологических характеристик канала в целом по нормативным или определенным экспериментально метрологическим характеристикам доступной части и нормированным или приписанным (по результатам ранее проведенных экспериментальных определений метрологических характеристик) недоступной части.

Если недоступная часть канала вносит «Основной вклад» в общую погрешность, то изложенный способ становится практически чисто расчетным, поскольку, несмотря на экспериментальную проверку доступной части, ее погрешность составляет незначительную долю в общей погрешности. Описанный способ наиболее применим для ИИС-2.

2.4.4. Утверждение типа СИ (сертификация)

Сертификация в переводе с латыни означает «сделано верно» [4]. Сертификация (утверждение типа) – используется для новых марок (типов) средств измерений, предназначенных для выпуска в производство или ввезенных в страну по импорту. Сертификация СИ предусматривает:

- обязательное испытание СИ Государственными метрологическими научными центрами;
- решение об утверждении типа Госстандартом (присвоение знака утверждения типа);
- Государственную регистрацию и получение сертификата.

Испытание образцов СИ производится в соответствии с правилами ПР 50.2.009-94 «ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений».

Испытания проводятся согласно утвержденной Государственной метрологической службой программой, разработанной в соответствии с рекомендациями МИ 2146-98 «ГСИ. Порядок разработки и требования к содержанию программ испытаний средств измерений для целей утверждения их типа».

Утвержденный тип СИ вносится в Государственный реестр, который ведет Госстандарт в соответствии с установленными правилами.

Испытания на соответствие СИ уже утвержденному типу проводят в случае:

- ✓ наличия информации от потребителей об ухудшении качества СИ;
- ✓ внесения производителем в их конструкцию изменений, влияющие на нормированные метрологические характеристики;
- ✓ истечения срока действия имеющегося сертификата об утверждении типа.

Испытания (для целей утверждения типа) и непосредственно утверждение типа проводят для ИИС, подлежащих применению в сферах распространения Государственного метрологического контроля и надзора.

Утверждение типа ИИС-2 осуществляют:

- для единичных экземпляров ИИС-2, спроектированных для конкретных объектов;

- для ИИС-2, устанавливаемых по типовому проекту на различных объектах, с выдачей сертификата утверждения типа на срок не более 5 лет без ограничения количества устанавливаемых экземпляров ИИС-2. При этом проектную организацию приравнивают к изготовителю ИИС.

Для ИИС, входящих в состав более сложных структур, сертификат утверждения типа оформляют на СИ с указанием наименования более сложной структуры. Допускается оформлять сертификат утверждения типа на ИИС, системы контроля и диагностирования и другие сложные структуры, основной частью которых является измерительная система.

В составе измерительных каналов ИИС-2, на которые будет распространен сертификат утверждения типа, допускается применять измерительные и комплексные компоненты только утвержденных типов.

Исключение составляют измерительные каналы утвержденных типов без указания наименования измерительной системы, а также измерительные каналы, для которых в эксплуатационной документации нормированы метрологические характеристики канала в целом и комплексная поверка которых (поверка измерительного канала в целом) обеспечена необходимыми методами и средствами.

Программы, реализуемые вычислительным компонентом, подлежат метрологической аттестации, если они влияют на результаты и погрешности измерений, но при этом:

- ✓ не использованы в процессе экспериментальной проверки измерительных каналов при испытаниях измерительной системы;

- ✓ или ее комплексного компонента;
- ✓ предусмотрена возможность модификации этих программ в процессе эксплуатации измерительной системы.

При этом программное обеспечение должно быть защищено от несанкционированного доступа.

В любом случае техническая документация на ИИС или комплексный компонент, представляемая на испытания для целей утверждения типа, должна содержать описание алгоритма обработки измерительной информации и идентифицирующие признаки реализующей его программы (номер версии, объем программы и т. п.). При модификации программы разработчиком или в процессе эксплуатации в той части, которая связана с обработкой измерительной информации, новая версия программы должна быть представлена на метрологическую аттестацию в организацию, проводившую испытания СИ (комплексного компонента) с целью утверждения типа.

Испытания в системах сертификации СИ и компонентов ИИС, подлежащих обязательной сертификации в системе ГОСТ Р или других системах в соответствии с действующим законодательством, должны предшествовать утверждению типа СИ.

Допускается испытания в системах обязательной сертификации СИ и компонентов ИИС проводить одновременно с испытаниями с целью утверждения типа. На рис. 2.6. приведен пример сертификата об утверждении типа средства измерений для «Систем измерений длительности соединений СИДС EWSD» и назначение, цели, перечень метрологических характеристик, методики проверки СИДС EWSD, которая является основанием для регистрации сертификата.


 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
 КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИИ
 (ГОССТАНДАРТ РОССИИ)

СЕРТИФИКАТ

об утверждении типа средств измерений
 PATTERN APPROVAL CERTIFICATE
 OF MEASURING INSTRUMENTS
 DE.C.33.002.A № 9978/3

Действителен до
 " 01 " мая 2006 г.

Настоящий сертификат удостоверяет, что на основании положительных результатов испытаний утвержден тип систем измерений длительности соединений

СИДС EWSD

.....
 наименование средства измерений
 Фирма "Siemens AG", Германия

.....
 наименование предприятия-изготовителя

который зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 21192-01 и допущен к применению в Российской Федерации.

Описание типа средства измерений приведено в приложении к настоящему сертификату.

Заместитель Председателя
 Госстандарта России

В.Н.Крутиков
 25" 05" 200-г.
 Продлен до
 " " " 200 г.
 " " " 200 г.

Заместитель Председателя
 Госстандарта России




Рис. 2.6. Пример сертификата об утверждении типа СИ

Информационно-измерительные и управляющие системы (ИИС и ИУС), являющиеся законченным изделием (по сути, продукцией) в свою очередь могут быть подвергнуты процедуре либо обязательной, либо добровольной сертификации.

Существует перечень продукции, подлежащий обязательной сертификации, установленный законом 184-ФЗ «Об основах технического регулирования в Российской Федерации».

Сертификация соответствия – действие третьей стороны, доказывающее, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированная продукция соответствует конкретному стандарту;

Система сертификации – это система, располагающая определенными правилами и процедурой управления для проведения сертификации;

Сертификат соответствия – документ, изданный в соответствии с правилами системы сертификации, указывающий, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом и идентифицированная продукция соответствует конкретному стандарту;

Соглашение по признанию – соглашение, основанное на том, что принятые одной стороной результаты представлены другой стороной, получены от одного или нескольких элементов системы сертификации.

Порядок проведения сертификации:

- подача и рассмотрение заявки;
- определение аккредитованной и испытательной лаборатории для проведения испытаний продукции;
- отбор образцов и испытаний сертифицированной продукции;
- аттестация производства сертифицированной продукции или оценка системы качества;
- выдача и регистрация сертификата соответствия и лицензии на право использования;
- осуществление инспекционного контроля за стабильностью качества сертифицированной продукции;
- рассмотрение апелляции.

Проверка соответствия осуществляется по следующим показателям:

- ✓ требование безопасности;
- ✓ требование электромагнитной совместимости;
- ✓ требование взаимозаменяемости.

Сертифицированная продукция это ещё не повод к её применению. Необходимо проверить стабильность производства по выпускаемой продукции для того, что бы определить его соответствие ранее сертифицированной продукции.

Технические условия (ТУ) на изделия – это номер, который присваивает разработчик изделия, является ведомственным документом, предприятия и отрасли, контрольный экземпляр находится на заводе-изготовителе. При выполнении сертификации запись в таблицу осуществляется следующим образом: указываются номера ТУ, по которым проводятся испытания. Для каждого вида изделия указывают код ОКП.

Пример. Сертификат на программный продукт – SCADA-система TRACE MODE. Сертификат присвоен предприятием ВНИИНМАШ – орган по сертификации средств информатизации приборостроения, медицинской техники и электрооборудования. Продукция «программное средство» – система, предназначенная для программирования микроконтроллеров. Эта система прошла сертификацию на соответствие ГОСТ 28.195-89, ГОСТ Р ИСО МЭК 9294-93, ГОСТ ИСО 9227-94.

Сертификация проводилась по показателям производительности системы TRACE MODE, полученным по данным экстремального тестирования:

- 1) скорость обработки сигнала;
- 2) скорость обнаружения информации на экране;
- 3) производительность сетевого обмена;
- 4) скорость сохранения данных в архиве;

Сертификат выдан на основании протокола испытаний №5/2000 от 22.09.2000 на программные средства и БД.

2.4.5. Поверка (калибровка) СИ

Поверка средств измерения производится органами Государственного метрологического контроля при выпуске с производства СИ, по которому уже присвоен утвержденный тип, либо при ввозе данного СИ по импорту. Кроме того, поверке подлежат те СИ, которые вышли после ремонта или по которым истек срок действия предыдущей поверки.

Поверке подлежит каждый экземпляр СИ, включенный в соответствующий реестр МИ 2273-97 «ГСИ. Область использования средств измерений, подлежащих поверке». Поверка осуществляется аттестованным Государственным поверителем в соответствии с правилами ПР 50.2.006-94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения».

На пригодное к эксплуатации средство измерения поверитель наносит соответствующее клеймо.

Средства измерения подвергаются первичной (при выпуске с производства или при ввозе по импорту), периодической (при эксплуатации), внеочередной (после ремонта, при возникновении рекламаций со стороны потребителей и т.д.) и инспекционной поверкам.

Закон «Об обеспечении единства измерений» устанавливает, что средства измерений, не подлежащие поверке, могут подвергаться *калибровке* при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже [5]. Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения или подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору.

Калибровка средств измерений осуществляется с использованием средств калибровки.

Средства калибровки – эталоны, установки и другие средства измерений, применяемые при калибровке. Качество калибровки средств измерений – совокупность характеристик калибровки, обуславливающих соответствие методов, средств и условий предъявляемым требованиям, установленным в нормативных документах при калибровке. Калибровочные работы выполняются аккредитованными метрологическими службами на право выполнения калибровочных работ.

Требования к выполнению калибровочных работ изложены в правилах ПР 50.2.016-9, они устанавливаются «Руководством по качеству организации и выполнения калибровочных работ», которое должно иметь следующие разделы:

- ✓ политика в области качества;
- ✓ область деятельности (аккредитации);
- ✓ средства калибровки;
- ✓ документация на калибровку;
- ✓ персонал;
- ✓ помещения. Окружающая среда;
- ✓ порядок приема и регистрации средств измерений на калибровку;
- ✓ оформление результатов калибровки.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средства измерений, или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах. Протоколы с результатами калибровки средств измерений должны храниться не менее срока следующей калибровки, в случае если не установлен срок следующей калибровки, – то не менее одного года.

Проверка и калибровка ИС. Проверке подвергают измерительные каналы измерительных систем, на которые распространен сертификат об утверждении типа, подлежащие применению или применяемые в сферах распространения государственного метрологического контроля. Оставшуюся часть измерительных каналов подвергают калибровке.

Тема 3. Аппаратное обеспечение ИИС и ИУС

Основной целью изучения данной темы ознакомление с техническими устройствами, применяемыми для реализации информационно-измерительных и управляющих систем, изучение программируемых логических контроллеров, модулей сбора данных и управления, коммуникационных модулей и модемов.

3.1. Общие сведения об аппаратном обеспечении ИУС

Верхний уровень системы автоматизации производственного предприятия состоит из серверов и рабочих станций, объединенных в офисную сеть Ethernet (рис. 3.1). На этом уровне решаются задачи поддержки принятия решений (OLAP-системы), управление ресурсами предприятия (ERP-системы), логистики производства (MES-системы), ведение баз данных (СУБД). К верхнему уровню диспетчерского управления относятся и операторские станции SCADA-систем, не работающие в режиме реального времени, так как офисные компьютеры и сеть не способны обеспечить ни требуемой надежности управления, ни быстроты реакции. Аппаратура этого уровня общеизвестна, ее изучение не входит в данный курс лекций.

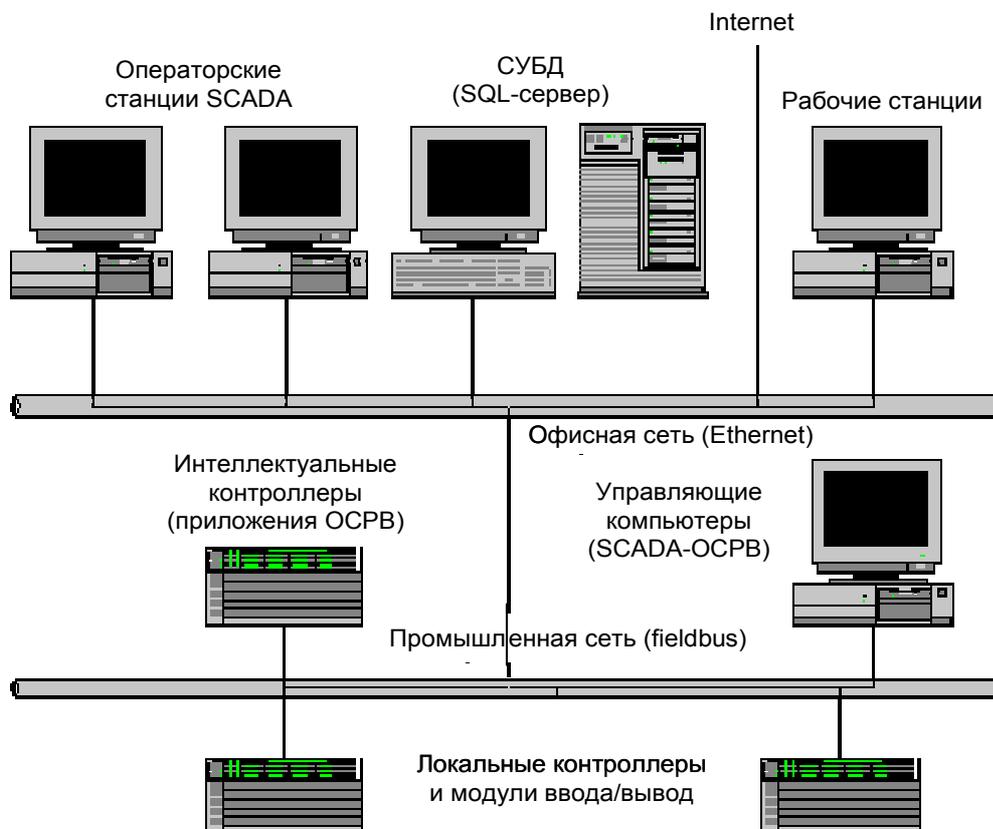


Рис. 3.1. Аппаратное обеспечение ИС

Аппаратура среднего уровня управления взаимодействует посредством специализированных промышленных сетей (fieldbus – полевая шина),

действующих, как правило, в пределах одного производственного участка, цеха или производственной площадки. Среди интерфейсов промышленных сетей наиболее распространены следующие интерфейсы: PROFIBUS, BITBAS, CANBUS, LonWorks, MODBUS. К среднему уровню относятся интеллектуальные контроллеры и управляющие компьютеры, способные работать под управлением ОСРВ.

Управляющий компьютер по функциональности аналогичный рабочей станции сети и персональному компьютеру, за исключением его исполнения. Исполнение управляющего компьютера должно отвечать промышленным стандартам по условиям эксплуатации и характеристикам надежности, поэтому эти компьютеры иногда называют **промышленными компьютерами** (рис. 3.2). Промышленное исполнение предполагает высокую надежность всех комплектующих элементов, повышенный температурный диапазон и способность работать при отрицательных температурах, вибро- и ударо- стойкость, наличие системы принудительной фильтрации воздуха, обеспечивающей работу в условиях высокой запыленности, требуемую степень герметичности корпуса (классификация IP), взрыво- пожаро- безопасность, средства механической защиты от несанкционированного доступа (прочный корпус, встроенные замки), резервирование электропитания и жестких дисков (RAID-массив). Вышеперечисленное является причиной многократного удорожания в сравнении с аналогичными по производительности офисными машинами.



Рис. 3.2. Промышленный компьютер

Управляющий компьютер отличается от привычных для нас офисных компьютеров, прежде всего, своим исполнением и эксплуатационными характеристиками (степень защиты корпуса – не менее IP 31; температурный диапазон эксплуатации – не уже -10...45 град.С; допустимая влажность воздуха – не менее 95 % (без образования конденсата) и т.д.), а также ценой \$4000...\$10000.

Системный блок может быть как настольного исполнения (desktop), так и для монтажа в 19” стойку (rack-mounted). Чаще применяется второй

вариант: системный блок монтируется в запираемую стойку для лучшей защищенности и предотвращения несанкционированного доступа.

В качестве интеллектуального контроллера чаще всего выступает **промышленный контроллер** с повышенной производительностью и объемом памяти, имеющий тип РС-совместимого ПЛК, т.е. его операционная система, файловая система, накопители – такие же, как и у персонального компьютера, отличие лишь в усеченной периферии, разветвленной системы портов ввода-вывода и внешних интерфейсов (рис. 3.3). Требования к исполнению промышленных контроллеров еще более жесткое, чем у управляющих компьютеров. Механический накопитель типа винчестера заменен твердотельным flash-диск, стандартная клавиатура заменена на специализированную с усеченным набором клавиш, вместо привычного монитора – сенсорный дисплей типа touchscreen. В самом предельном случае клавиатуры, мыши и монитора вообще может не быть, тогда подготовка и внедрение прикладных программ производится по сети с рабочей станции. Цена промышленных контроллеров ниже по сравнению с управляющими компьютерами, так как у контроллеров меньше периферии, которую нужно защищать от вредных условий производства. Интеллектуальные контроллеры чаще всего размещаются в централизованных пультах управления.

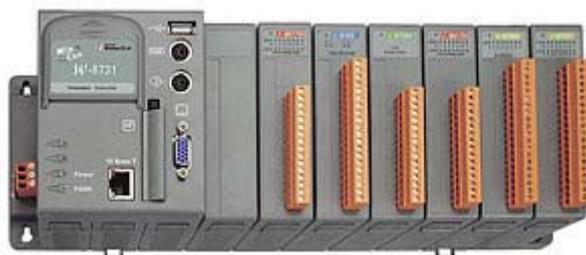


Рис. 3.3. Промышленный контроллер

Нижний уровень – уровень объекта (контроллерный) – включает различные датчики для сбора информации о ходе технологического процесса, электроприводы и исполнительные механизмы для реализации управляющих воздействий, модули ввода-вывода для подключения датчиков и исполнительных механизмов, коммуникационные модули для взаимодействия подсетей и телекоммуникаций, **локальные контроллеры** для реализации алгоритмов управления в режиме реального времени. Так как информация в локальных контроллерах предварительно обрабатывается и частично используется на месте, существенно снижаются требования к пропускной способности каналов связи.

В качестве локальных контроллеров в системах контроля и управления различными технологическими процессами в настоящее время применяются промышленные контроллеры как отечественных производителей, так и зарубежных. На рынке представлены десятки и сотни типов промышленных контроллеров, различающихся производительностью, объемом ОЗУ и flash-накопителя, типом и числом портов ввода-вывода. В зависимости от конфигурации промышленные контроллеры способны обрабатывать

информацию в объеме от нескольких переменных до нескольких сот переменных. Локальные контроллеры являются основой для построения распределенных информационно-управляющих систем, как правило, они устанавливаются по месту, в непосредственной близости от объекта управления.

В концепции реализации человеко-машинного интерфейса информационно-управляющая система должна осуществлять ввод командной информации от человека-оператора и обеспечивать визуализацию процесса управления. Эти функции традиционно выполняют кнопочные пульта управления, мнемосхемные панели и операторские панели локального мониторинга и управления (operator panels).

Современная операторская панель представляет собой компактную вычислительную машину со встроенным жидкокристаллическим дисплеем. Для реализации функций управления панели снабжаются блоками кнопочного управления и/или сенсорными экранами (touch screens). Операторские панели, как правило, встраиваются в шкафы управления, поэтому степень защиты их лицевой панели должна быть не менее IP54 (рис. 3.4).

Аппаратная архитектура панелей устроена по подобию обычных персональных компьютеров, только вместо жесткого диска используется Flash-память. Типовая панель состоит из следующих аппаратных компонентов: 32-разрядный RISC-процессор; оперативная память SDRAM небольшого объема; встроенная Flash-EPROM память для хранения операционной системы и накопления пользовательских данных; различные слоты расширения и интерфейсы для подключения программатора и/или сети передачи данных.



Рис. 3.4. Шкафы ввода/вывода с вмонтированными операторскими панелями

На рис. 3.5 представлена панель оператора MP370-12 Keys производства Siemens, обладающая следующими характеристиками: экран

(управление): LCD 800x600/ 256 цветов + мембранная клавиатура; процессор: RISC с частотой 250 МГц; операционная система: Windows; пользовательская flash-память: 12 Мб; интерфейсы: RS-232/422/485, MPI, Profibus DP до 12 Мбит/с, Ethernet 10/100 Мбит/с; слоты: карты Compact Flash; степень защиты корпуса лицевой панели: IP65.

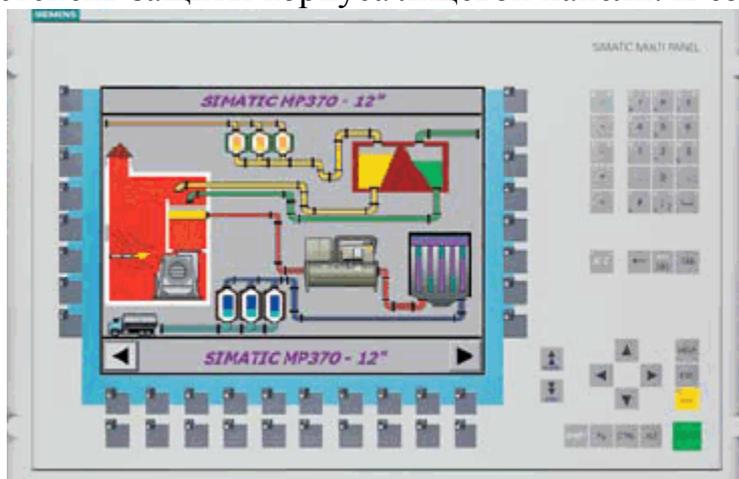


Рис. 3.5. Панель оператора MP370-12 Keys производства Siemens

На рис. 3.6 изображены панели E1100 (слева) и E300 (справа) производства Mitsubishi. Технические характеристики E1100: экран (управление): LCD 800x600/ 65536 цветов + touchscreen; процессор: RISC Intel XScale, 400 МГц; операционная система: Windows; пользовательская flash-память: Intel Strata 32 Мб; оперативная память RAM: 64 Мб; интерфейсы: RS-232, RS-422/485, сеть: Ethernet 10/100 Мбит/с, Modbus RTU, Profibus DP (опционально); слоты: Compact Flash; степень защиты корпуса лицевой панели IP66.



Рис. 3.6. Операторские панели E1100 (слева) и E300 (справа) производства Mitsubishi

Существует очень элегантное техническое решение, объединяющее функционал панели оператора и возможности промышленного контроллера в одном устройстве. Такие многофункциональные устройства часто называют графическими супервизорами (visual supervisors).

На рис. 3.7 представлен модельный ряд супервизоров серии Еусон компании Eurotherm. Что примечательно, эти графические устройства, по сути, являются полноценными промышленными контроллерами.



Рис. 3.7. Графические супервизоры Еусон производства Eurotherm

Помимо типового функционала операторской панели, они могут выполнять квазинепрерывное и программно-логическое управление в рецептурных задачах взвешивания и дозирования. Графические супервизоры часто устанавливаются на фармацевтических и пищевых производствах.

3.2. Программируемые логические контроллеры

Все ранее используемые определения: промышленный контроллер, интеллектуальный контроллер, локальный контроллер, РС-совместимый контроллер, – все они относятся к различным по функциям и исполнению программируемым логическим контроллерам (ПЛК, PLC - Programming Logical Controller).

Вот какое определение дано в Википедии. ПЛК – микропроцессорное устройство, предназначенное для управления технологическими процессами в промышленности и другими сложными технологическими объектами (например, системы управления микроклиматом). Принцип работы ПЛК заключается в сборе сигналов от датчиков и их обработке по прикладной программе пользователя с выдачей управляющих сигналов на исполнительные устройства.

Первые логические контроллеры появились в виде шкафов с набором соединённых между собой реле и контактов. Эта схема задавалась жёстко на этапе проектирования и не могла быть изменена далее. В первых ПЛК, пришедших на замену обычным логическим контроллерам, логика соединений программировалась схемой соединений (LD – Ladder logic Diagram). То есть устройство имело тот же принцип работы, но реле и

контакты (кроме входных и выходных) были виртуальными, то есть существовали в виде программы микроконтроллера.

В зависимости от типа систем управления: программно-логической или дискретно-непрерывной, – преобладают либо логические, либо числовые операции при программной реализации. В первых из этих систем, для построения устройства управления (УУ) наиболее часто используются ПЛК с акцентом именно на логические свои возможности. Такие ПЛК имеют, как правило, встроенный специализированный язык программирования, ориентированный на программно-логическое управление технологическим процессом, и преобладающее количество дискретных входов-выходов над аналоговыми.

Во вторых системах широкое применение нашли РС-совместимые контроллеры, позволяющие производить достаточно сложные вычисления и программирование на алгоритмических языках (Си, Паскаль). Однако, в большинстве приложений АСУТП преобладают все же логические операции, поэтому за всеми этими устройствами остаётся название ПЛК.

В отличие от универсальных микропроцессоров и построенных на их основе компьютеров, в которых обычно доступна только байтовая или словарная адресация, в ПЛК – обеспечивается доступ к отдельным битам памяти.

ПЛК не имеют развитых средств интерфейса типа клавиатуры с полным набором клавиш и SVGA-дисплея, они устанавливаются в шкафы управления, их программирование, диагностика и обслуживание производятся по средствам компьютера со специальным программным обеспечением, подключенного по сети либо через нестандартный или стандартный интерфейс, например СОМ-порт или USB. В системах управления технологическими процессами ПЛК взаимодействуют с системами человеко-машинного интерфейса: операторскими панелями и АРМ операторов на базе компьютеров, например с использованием SCADA-систем.

ПЛК делятся на централизованные и периферийные (локальные). Централизованный ПЛК монтируется в шкаф управления, расположенный в пультовой, а датчики и исполнительные устройства объекта управления подключаются к нему через устройства сопряжения с объектом отдельными проводами. Это устаревший подход, так как получается слишком сложный монтаж и много проводов, а также низкая надежность и помехоустойчивость.

Современный подход заключается в распределенной структуре управления. Централизованный ПЛК выполняет роль интеллектуального контроллера либо контроллера среднего звена управления, который не связан непосредственно с датчиками и исполнительными устройствами объекта управления. Централизованный ПЛК взаимодействует с нижним звеном управления: локальными контроллерами, модулями ввода-вывода и интеллектуальными датчиками, – через промышленную сеть, например, PROFIBUS с протоколом DP.

Локальные контроллеры совместно с модулями ввода-вывода размещаются по месту, в непосредственной близости от объекта управления, к ним подключаются датчики и исполнительные устройства достаточно короткими проводниками, при этом обеспечивается высокая помехоустойчивость.

3.2.1. ПЛК – микропроцессорный модуль

ПЛК, как правило, строится на основе микроконтроллера (рис. 3.8), представляющего собой микропроцессорную систему в интегральном исполнении (т.е. в одной БИС) со своей памятью, периферией и портами ввода-вывода:

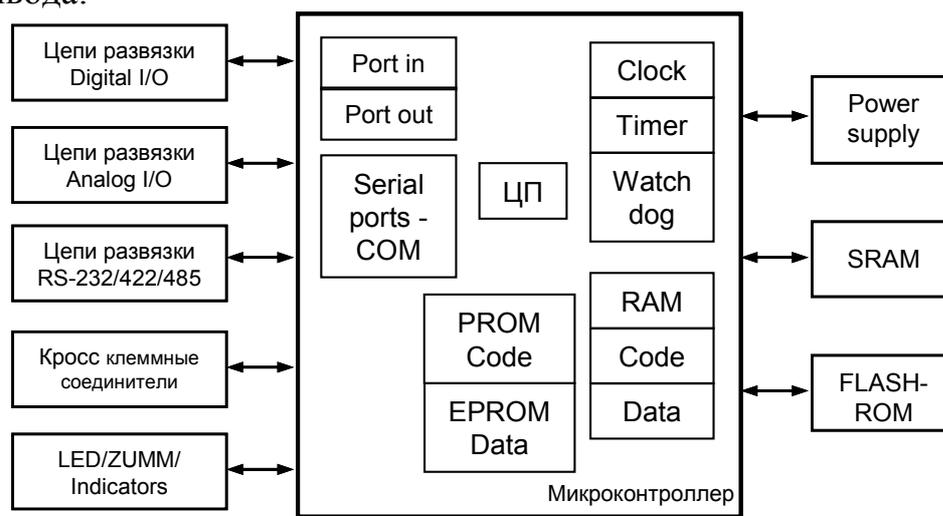


Рис. 3.8. Программируемый логический контроллер

- ✓ ЦП – центральный процессор микроконтроллера, может иметь RISC-архитектуру (например, МК – PIC 16) или CISC-архитектуру (например, МК – AMD 80188-40, имеет систему команд, аналогичную x86);
 - ✓ RAM – оперативная память (ОЗУ) для гарвардской архитектуры разделена на память программ Code Segment и память данных Data Segment;
 - ✓ PROM Code – постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) для хранения программ начальной инициализации и библиотек ввода-вывода;
 - ✓ EPROM Data – энергонезависимое электрически перезаписываемое ПЗУ в сегменте памяти данных Data Segment для сохранения параметров настройки и констант системы управления;
 - ✓ Clock – внутренние часы, счетчики времени и таймеры (Timer), а также таймер специального назначения WatchDog;
 - ✓ Port in/out – параллельные порты ввода и вывода;
 - ✓ Serial ports – последовательные порты – COM-порты.
- Внешние схемы обвязки микроконтроллера, входящие в состав ПЛК, делают его законченным устройством и определяют его конфигурацию в соответствии с конкретными функциональными задачами:
- ✓ цепи развязки Digital I/O – дискретные порты ввода-вывода с цепями гальванической развязки;
 - ✓ цепи развязки Analog I/O – аналоговые входы и выходы с цепями защиты от переплюсовки, перенапряжения и цепи искрогашения. Для ввода и

вывода аналоговых сигналов в структуре ПЛК дополнительно должны присутствовать АЦП и ЦАП;

- ✓ цепи развязки RS-232/422/485 – последовательные СОМ-порты, обеспечивающие электрические параметры интерфейсов RS-232, RS-422 или RS-485;
- ✓ LED/ZUMM/Indicators – доступные для программиста органы сигнализации и индикации: светодиоды (LED), цифровые сегментные индикаторы (Indicators), зуммер (ZUMM);
- ✓ SRAM – внешнее по отношению к МК ОЗУ статического типа – расширение для хранения больших по объему программ или данных;
- ✓ FLASH-ROM – внешний твердотельный Flash-накопитель (сменная Flash-карточка), для хранения файлов и папок.

Кроме основных функциональных блоков в ПЛК имеется собственный преобразователь напряжения питания (Power supply), для снабжения электропитанием всех внутренних цепей, возможно с несколькими значениями напряжения, от одного внешнего источника питания, например =24 В или ~220 В. Также ПЛК снабжен внешними клеммными соединителями и стандартными разъемами, обеспечивающими надежный монтаж в промышленных шкафах управления.

В зависимости от конфигурации распределенной системы управления дискретный и аналоговый ввод-вывод (Digital I/O, Analog I/O) может быть вынесен из состава ПЛК на уровень модулей ввода-вывода, которые соединяются с ПЛК по полевой шине (fieldbus). Такая конфигурация обеспечивает лучшую распределенность и надежность системы.

Число последовательных портов определяется решаемой задачей. Обычно один из последовательных портов RS-232 отводится для программирования ПЛК, к нему подключается ПК через свой стандартный СОМ-порт по средствам установленного ПО, которое предназначено для подготовки и внедрения прикладных программ в ПЛК. В качестве такого ПО может быть использована специальная программа, выпускаемая производителем ПЛК, либо SCADA-система, работающая с конкретным ПЛК через его OPC-сервер. Остальные последовательные интерфейсы могут иметь любой тип, в том числе и порт Ethernet и USB. Часто, порты типа RS-232, RS-422 и RS-485 могут быть выбраны пользователем путем установления механических переключателей на печатной плате ПЛК при его установке.

Через порт RS-232 и RS-422 возможно подключить только одно устройство, так как эти интерфейсы радиального типа, и отличаются только максимальным расстоянием удаления устройства (до 15 м для RS-232; до 1200 м для RS-422).

Интерфейс RS-485 имеет магистральный тип с максимальной протяженностью линий соединения до 1200 м, к ним можно подключать множество устройств: до 128 или до 256 для каждого интерфейса. Они служат для развертывания промышленных сетей (fieldbus), предназначенных для взаимодействия с различными группами оборудования: модулями ввода-вывода, интеллектуальными датчиками и исполнительными устройствами.

Если ПЛК взаимодействует с несколькими группами оборудования, например от разных производителей, то для каждой группы желательно выделить отдельную сеть RS-485, в которой действует свой протокол обмена. В сети у каждого устройства должен быть установлен свой уникальный адрес.

Функции времени в ПЛК, обеспечивающие режим реального времени, реализованы на таймерах. Обычно в структуре ПЛК несколько таймеров: таймер-часы, таймеры общего назначения, используемые программистом для организации взаимодействия задач реального времени, сторожевой таймер WatchDog. Структурная схема типового таймера основана на работе двоичного счетчика СТ2 (рис. 3.9-а), на вход которого поступает последовательность импульсов от встроенного тактового генератора МК. Коэффициент деления делителя частоты доступен программисту и может задаваться в прикладной программе. Используя входной сигнал счетчика «сброс» и выходной «overload» (переполнение) организуется либо в прикладной программе, либо средствами ОСРВ отслеживание заданных временных интервалов в режиме прерываний. Для этих целей через шину данных (ШД) осуществляется программная установка заданного кода при этом прерывание инициализируется от сигнала переполнения счетчика. Возможен и второй вариант, при котором производится считывание параллельного кода, соответствующего прошедшему времени с момента сброса счетчика, прерывание инициализируется при достижении заданного значения кода (рис. 3.9-б).

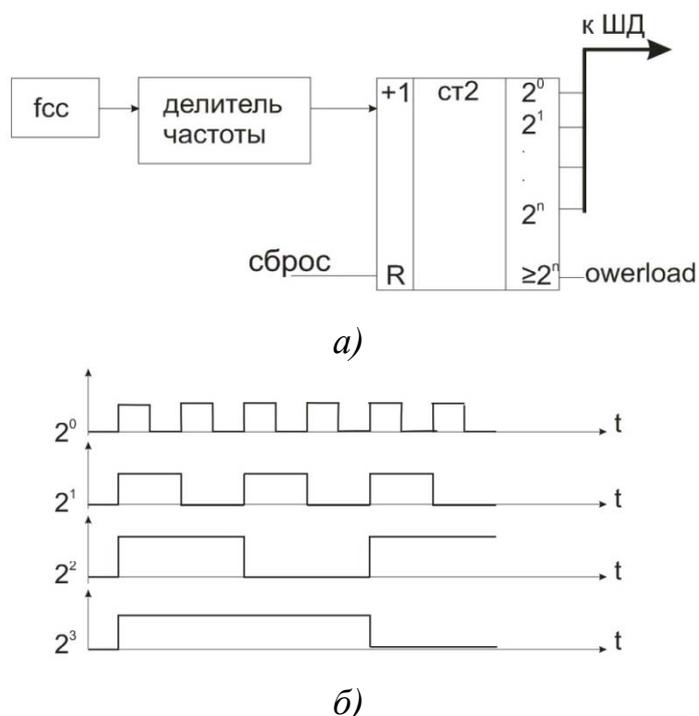


Рис. 3.9. Таймер-счетчик: а – структурная схема; б – эпюры напряжений на выходах двоичного счетчика

Таймер специального назначения – сторожевой таймер WatchDog служит для предотвращения «зависания» ПЛК, так как «зависание» может

привести к нарушению режима реального времени и, как следствие, к аварийным ситуациям и выходу из строя оборудования. Если сторожевой таймер активизирован, то он отсчитывает периоды реального времени, соответствующие переполнению счетчика ($\geq 2^n$). Если в течение одного такого периода к сторожевому таймеру поступает сигнал сброса от выполняемой прикладной программы, таймер начинает отсчет нового периода (рис. 3.10).

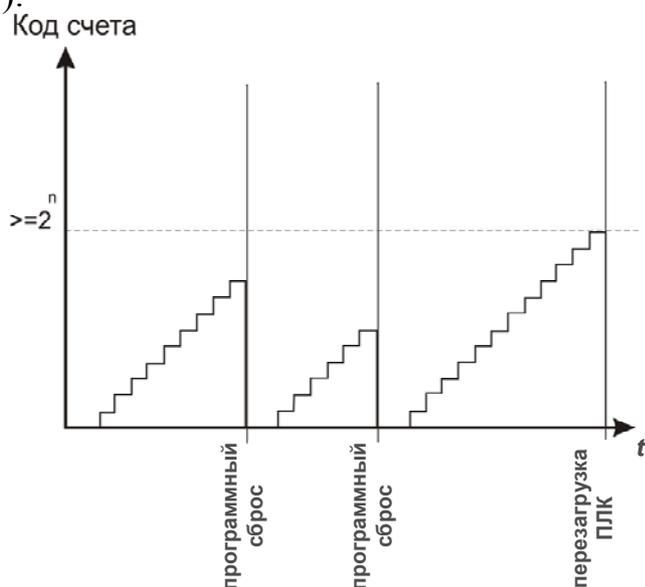


Рис. 3.10. Работа сторожевого таймера WatchDog

Если же по каким-то причинам (либо аппаратного сбоя, либо при некорректной работе прикладной программы), произошло «зависание», то до момента истечения периода таймера сигнал программного сброса не поступит, и WatchDog произведет аппаратную перезагрузку всего ПЛК. Для реализации контроля времени выполнения прикладных программ в их алгоритмах должны быть предусмотрены контрольные точки, в которых выдается сигнал сброса сторожевого таймера WatchDog. При перезагрузке автоматически запускается прикладная программа вновь, а так как параметры процесса управления сохраняются в энергонезависимой памяти, то после перезагрузки продолжается штатное функционирование системы и сбой практически не заметен. Обычно период счета сторожевого таймера выбирается в пределах десятков миллисекунд.

Производители обычно выпускают не один универсальный ПЛК, а целую серию – ряд ПЛК, в которой контроллеры отличаются числом и типом последовательных портов, количеством дискретных и аналоговых входов и выходов, объемом внешнего ОЗУ и Flash-накопителя, наличием светодиодов, *n*-разрядного индикатора и зуммера. Таким образом, под конкретную задачу проектировщик системы управления можно подобрать ПЛК из нужной серии, оптимальный по отношению цена/возможности.

3.2.2. Устройства сбора данных и управления

Устройства сбора данных и управления обычно выполняются в виде отдельных модулей, которые размещаются в непосредственной близости от объекта управления. В модулях производится сбор и первичная обработка информации. Связь между ПЛК и модулями ввода-вывода осуществляется через промышленную сеть (fieldbus) с интерфейсом PROFIBUS, BITBAS, CANBUS, LonWorks, MODBUS и т.п.

Требования, предъявляемые к модулям ввода-вывода:

- надежность и помехоустойчивость;
- гальваническая развязка цепей связи с объектом;
- буферизация данных, выборка и хранение;
- запоминание состояний выходов при аварийном отключении;
- поддержка унифицированных сигналов и стандартных интерфейсов.

Модули ввода данных по функциональному назначению делятся на:

- ✓ модули дискретного ввода Digital In (DI), предназначены для ввода потенциальных сигналов типа «вкл-выкл» и имеют гальваническую развязку (рис. 3.11). Тип входа, изображенного на рисунке называется потенциальным. Выпускаются также модули дискретного ввода типа «сухой контакт», когда входом является электромеханический контакт, имеющий два состояния: замкнуто и разомкнуто;

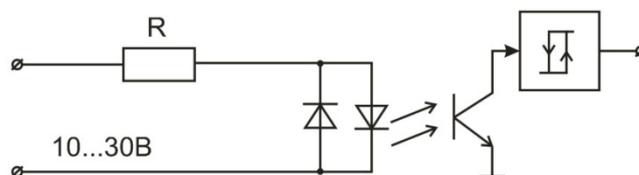


Рис. 3.11. Ввод дискретных сигналов

- ✓ модули аналогового ввода, содержащие в своей структуре одноканальные или многоканальные АЦП. Работают модули либо с унифицированным сигналом электрического напряжения или тока (например, диапазон 0...10 В или 4...20 мА), либо с определенным типом датчика, тогда в составе модуля имеется еще и преобразователь (например, специальные модули для работы с тензометрическими датчиками веса 2,0 мВ/В или с термометрами сопротивления типа ТСМ). Параметры преобразователя настраиваются программно или с помощью переключателей на печатной плате;
- ✓ модули частотного ввода осуществляют подсчет числа внешних входных импульсов за определенный промежуток времени, либо их частоту следования.

Модули вывода данных по функциональному назначению делятся на:

- ✓ модули дискретного вывода Digital Out (DO), предназначены для вывода сигналов типа «вкл-выкл». Применяются выходные схемы типа ОК (общий коллектор транзистора) либо типа «сухой контакт», когда выходом является контакт электромагнитного реле, имеющий два

состояния: замкнуто и разомкнуто. Выходы применяются для включения клапанов, насосов и т. д.;

- ✓ модули аналогового вывода, содержащие в своей структуре ЦАП. На выходе модуля формируется унифицированный электрический сигнал напряжения или тока. Вид унифицированного сигнала преобразователя настраивается программно или с помощью перемычек на печатной плате;
- ✓ модули управления исполнительными механизмами и электродвигателями:
 - управление двигателем постоянного тока строится на базе широтно-импульсного модулятора (ШИМ);
 - управление асинхронным двигателем переменного тока строится на базе частотного преобразователя.

3.2.3. Коммуникационные модули

Коммуникационные устройства (модули) служат для решения телекоммуникационных задач, в том числе организации взаимодействия промышленных подсетей и преобразования информации. Можно выделить несколько групп коммуникационных модулей:

- преобразователи/адаптеры интерфейса: Ethernet/RS-485, USB/RS-485, RS-232/RS-485 и др. (рис. 3.12).

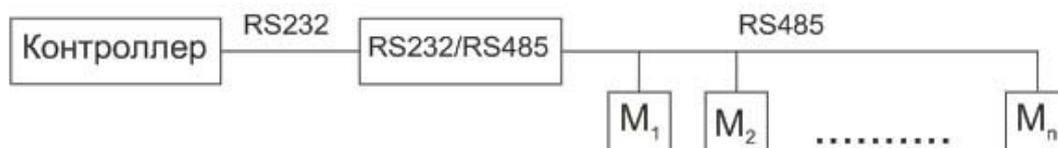


Рис. 3.12. Применение преобразователя интерфейса RS232/RS485

RS-422 – радиальный интерфейс (точка-точка) аналогичен по каналному протоколу стандартному COM-порту (RS-232), но отличается от него электрическими характеристиками, т. е. физическим уровнем модели OSI. Интерфейсы RS-422 и RS-485 имеют единые электрические параметры и обеспечивают дальность соединения до 1200 м.

RS-485 в отличие от RS-422 – магистральный интерфейс, обеспечивающий соединения «точка – много точек». Адресация узлов сети RS-485 поддерживается на прикладном уровне модели OSI. Каждый узел сети – модуль ввода-вывода или ПЛК – имеет свой уникальный адрес от 00 до FF, задаваемый при инсталляции системы путем установления микропереключателей (перемычек) на печатной плате модулей или сохраняется в энергонезависимой памяти при программировании. В каждый момент времени только один узел может быть инициатором общения, т. е. являться ведущим узлом (Master), остальные же узлы являются ведомыми (Slave). Ведущий узел – как правило, ПЛК – посылает сообщение-запрос для

конкретного узла, обращаясь к нему по адресу. Модуль, принявший запрос, формирует сообщение-ответ для ведущего узла, в котором выдает требуемую информацию или подтверждает получение информации.

Применяются как двоичные форматы передачи данных по промышленной сети, так и ASCII-форматы, в которых каждый байт трактуется как один из символов таблицы ASCII (рис. 3.13). Надежность передачи данных интерфейса обусловлена символьным форматом, проверкой контрольной суммы, обязательным подтверждением в сообщении-ответе и на прикладном уровне.



Рис. 3.13. Формат протокола сообщений модулей I-7000 (интерфейс RS-485)

- повторители (repeater) предназначены для увеличения протяженности линий связи, ограниченной конкретным интерфейсом или, например, организация ответвлений в линейной магистрали RS-485;
- модемы служат для передачи цифровой информации на большие расстояния, модулированной определенным образом. Серийно выпускаются модемы для электропроводных линий передачи, оптоволоконных линий и беспроводных сетей.

Тональные модемы служат для передачи информации по существующим телефонным или другим проводным линиям связи большой протяженности. В промышленных сетях модемы могут использоваться как удлинители проводных линий. Сигнал из цифровой формы преобразуется в модулированную тональную форму, основанную на частотной модуляции. Такой сигнал при сравнительно низкой плотности передачи имеет очень высокую помехоустойчивость, что и обуславливает их широкое применения для решения задач телекоммуникаций.

Одной из разновидности модемов является радиомодем. По средствам радиомодемов строятся беспроводные радиосети в тех случаях, когда объекты распределены, и имеются трудности в прокладке проводных или оптоволоконных линий из-за их дороговизны или особых условий. Структура радиомодемного модуля Спектр-433 приведена на рис. 3.14, где введены следующие обозначения:

- СОМ – последовательный интерфейс RS232/RS485;
- Бс – буфер сообщений последовательного интерфейса;
- МК – встроенный микроконтроллер для управления радиомодемом;
- Бп – буфер пакетов, передаваемых в эфир;
- М-Д-М – модулятор-демодулятор;

- п/п – приемопередатчик, передающий сигнал в эфир на несущей частоте 433 МГц, либо принимающий радиосигнал.

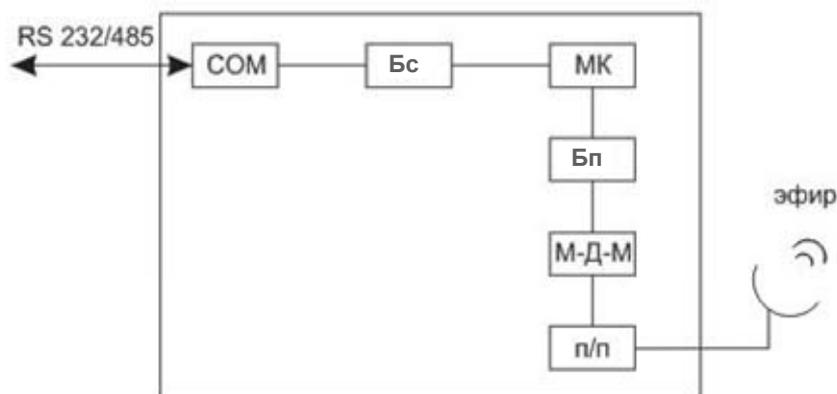


Рис. 3.14. Структура радиомодема Спектр-433

С целью повышения надежности передачи данных сообщения разбиваются на пакеты небольшой длины (не более 256 байт). Эта функция реализована микроконтроллером модема программно. Кроме этой функции МК производит буферизацию данных, входящих по СОМ-порту, и буферизацию пакетов, приходящих по радиоэфиру, осуществляет сборку этих пакетов в исходные сообщения (этот процесс называется конкатенацией) и помехоустойчивое кодирование, не допускает коллизий в радиоэфире, для этого перед отправкой очередного пакета модем проверяет свободен ли эфир, обеспечивает различные режимы функционирования модема:

1. Режим «прозрачный». Канал связи скрыт от внешнего оборудования и программного обеспечения. Все, что поступило на СОМ-порт, передается в эфир, а все, что принимается из эфира, отправляется на последовательный порт. Этот режим существует для удлинения существующих каналов. Адресация и логическое взаимодействие объектов в системе обеспечивается на более высоком прикладном уровне внешним оборудованием и программным обеспечением.
2. Режим «пакетный». Логическое взаимодействие и адресация объектов обеспечивается на уровне радиосети. Для этого внешнее оборудование и ПО должны поддерживать внутренний протокол обмена данными модема. В этом режиме пакеты адресуются конкретному модему в радиосети, который подтверждает безошибочное получение пакета.
3. Режим «командный». В этом режиме выполняется настройка и конфигурирование модемов, тестирование и выполнение различных команд.
4. Режим прямого доступа. В этом режиме модем предоставляет внешнему оборудованию прямой доступ к эфиру, точнее к модулятору и демодулятору встроенного приемопередатчика. Для обмена данными внешнее оборудование может использовать собственные протоколы, адресацию, способы помехоустойчивого кодирования, т. е. минует обработку данных микроконтроллером модема.

Для организации работы модемов в радиосети используется несколько режимов:

- ✓ широковещательный режим, когда модем передает в эфир пакеты сразу для всех модемов, в этом режиме невозможно гарантировать доставку пакетов (рис. 3.15-а);
- ✓ режим «точка-точка», когда пакет передается адресно, конкретному модему, который обязан вернуть пакет подтверждения приема и достоверности данных, при этом гарантируется доставка пакетов;
- ✓ режим ретрансляции, используется в модеме M_p (рис. 3.15-б) в случае отсутствия прямой видимости между модемами M_1 и M_2 . В СОМ-порт модема M_p в режиме ретрансляции информация не транслируется.

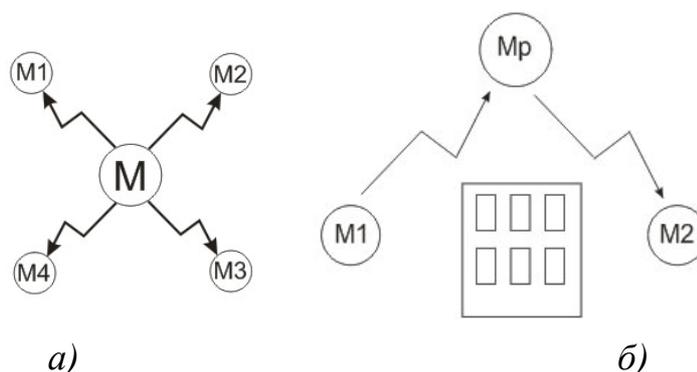


Рис. 3.15. Организации работы радиосети:

а – широковещательный режим; б – режим ретрансляции

Методы повышения надежности передаваемых данных: уменьшение длины пакетов, дублирование пакетов, снижение скорости передачи, подтверждение приема с проверкой контрольных суммарных пакетов, применение помехоустойчивого кодирования (коды Рида-Соломона и Хемминга), алгоритмов перемежения, рандомизации (скремблирования), подтверждение достоверности обмена на прикладном уровне.

Снижение скорости обмена данными в телекоммуникационных модулях может привести к срыву режима реального времени, например, из-за помех в радиоэфире потребуется повторная передача пакета данных радиомодемом. Поэтому, при проектировании СРВ необходимо учитывать возможные временные задержки не только при реализации алгоритмов управления в ПЛК, но и при передаче управляющей информации по телекоммуникационным каналам связи.

Практикум (лабораторный)

Лабораторная работа №1. Программирование PC-совместимых ПЛК серии ADAM-4500 в среде SCADA

Требования к содержанию, оформлению и порядку выполнения

Перед выполнением лабораторной работы студент должен изучить теоретическую часть курса. Студент, выполняющий лабораторную работу в составе с реальным лабораторным стендом, обязан получить к ней допуск путем собеседования с преподавателем, который заключается в подтверждении готовности студента к ее выполнению, а именно, знание основ теории по данной теме, порядка выполнения лабораторной работы, особенностей и правил работы с лабораторным стендом. Преподаватель определяет вариант задания для выполнения лабораторной работы конкретным студентом.

Студент при работе с персональным компьютером, на котором установлено прикладное и коммуникационное программное обеспечения для работы с данным лабораторным стендом, должен создать новую папку под именем «Ваша фамилия, Лабораторная работа №_» (например: «Симонов А.М. Лабораторная работа №1»).

Выполнение лабораторной работы производится в 2 этапа:

1. Разработка программы и отладка ее на программном эмуляторе того продукта, который предназначен для данного стенда.
2. Демонстрация преподавателю работы отлаженной программы, которая должна функционировать в составе с реальным лабораторным стендом в строгом соответствии с полученным заданием (только для студентов очной формы обучения).
3. Сохранение созданного проекта, содержащего разработанную и отлаженную программу, в вышеуказанную папку.

После успешного выполнения лабораторной работы студент должен оформить отчет в соответствии с предъявляемыми требованиями и осуществить ее защиту, проводимую в форме собеседования с преподавателем. Цель защиты – подтверждение факта самостоятельного выполнения лабораторной работы и определение степени усвоения студентом теоретического материала по данной теме.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд выполнен в переносном корпусе чемоданного типа, он состоит из верхней откидной панели, и нижнего основания. В нижней части смонтированы: блок питания, промышленный контроллер, модули ввода-вывода, устройства коммутации, органы управления и индикации. В верхней части стенда смонтированы органы индикации и цифровые измерительные модули аналоговых сигналов. Ниже приведены

электрические принципиальные схемы и схемы монтажные исполнения лабораторного стенда. На схемах введены обозначения:

- A1 – ПЛК ADAM-4500, базовый модуль;
- A2 – модуль аналогового ввода ADAM-4013;
- A3 – модуль аналогового вывода ADAM-4024;
- A4 – модуль дискретного ввода ADAM-4051;
- A5 – модуль дискретного вывода ADAM-4056S;
- A10-A13 – преобразователь напряжения 24/12 VDC;
- A14 – блок питания 24VDC;
- VD1-VD16 – светодиод (средства индикации);
- S1-S15 – переключатели (органы управления);
- R1-R4 – потенциометр (органы управления);
- X1-X2 – клеммные соединители и разъемы – средства коммутации.

Модули имеют следующие обозначения входов и выходов:

- дискретный ввод – DI;
- дискретный вывод – DO;
- аналоговый ввод/вывод – V;

Подключение к сети питания 220В, 50 Гц и к персональному компьютеру осуществляется специальными кабелями под контролем преподавателя.

Общая постановка задачи

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен получить навыки работы с контроллерами фирмы Advantech модификации ADAM-4500 и программного обеспечения SCADA-системы MasterSCADA v.2.5, С-ядро которой прошито в ПЛК. В процессе выполнения лабораторной работы студент должен правильно подобрать необходимую для решения поставленной задачи конфигурацию промышленного контроллера с установленным набором модулей, произвести прошивку ПЛК как программой написанной на языке программирования Си в среде Borland, так и на основе SCADA-системы, определить величины входных сигналов и их типы, создать исполнительную программу на базе стандартных функциональных блоков, входящих в программное обеспечение MasterSCADA. При работе с программным продуктом MasterSCADA необходимо также получить навыки создания визуальных объектов и мнемосхем, в том числе интерактивных и анимированных.

Выполнение работы

Задание №1 «Управление воротами и освещением гаража на базе ПЛК ADAM»

На базе контроллера ADAM-4500 необходимо разработать систему управления воротами и освещением гаража.

Описание алгоритма работы:

Нажатие на кнопку DI1 включает освещение в гараже (DO3) и включает двигатель, открывающий ворота гаража (DO1). Двигатель выключается по срабатыванию концевого выключателя (DI3). Кнопка DI2 включает двигатель закрытия ворот (DO2). Отключение двигателя закрытия ворот выполняет концевой выключатель DI4. Свет в гараже гаснет через 5 секунд после закрытия ворот гаража.

Используемые компоненты:

- ADAM-4500;
- DI1 кнопка «открыть ворота гаража» (замыкающий контакт);
- DI2 кнопка «закрыть ворота гаража» (замыкающий контакт);
- DI3 концевой выключатель двигателя, открывающего ворота;
- DI4 концевой выключатель двигателя, закрывающего ворота;
- DO1 двигатель, открывающий ворота;
- DO2 двигатель, закрывающий ворота;
- DO3 освещение гаража.

Задание №2 «Управление подъемной платформой на базе ПЛК ADAM»

На базе контроллера ADAM-4500 необходимо реализовать управление подъемной платформой. Для контроля зоны перемещения подъемной платформы установлено несколько параллельно включенных датчиков (например, ультразвуковых).

Описание алгоритма работы:

Подъемная платформа с помощью кнопок может перемещаться вверх или вниз. Для этого к DI1 подключена кнопка «Вверх», а к DI3 –кнопка «Вниз». Соответствующее конечное положение распознается конечным выключателем. Конечный выключатель на DI2 – для верхнего положения платформы, конечный выключатель на DI4 – для нижнего положения.

Если конечное положение достигнуто, то движение можно только в противоположном направлении. Направление перемещения задается с помощью кнопок DI1 и DI3. Останов платформы осуществляется посредством кнопки «Стоп» (DI7).

Ультразвуковые датчики для контроля зоны перемещения платформы подключены к DI5. Если датчиками распознается препятствие, то платформа останавливается, в этом случае платформу можно перемещать в ручном режиме, если клавиша направления нажата дольше 2 секунд.

Однако, если нажата кнопка аварийного останова на DI7, то платформа останавливается немедленно и не может больше перемещаться с помощью кнопок управления направлением, пока не отпущена кнопка аварийного останова.

Для лучшего распознавания того, что платформа движется, активизируется предупредительное сигнальное устройство на DO3. Если платформа движется вверх или вниз, то мигает предупредительный световой сигнал на DO3.

Используемые компоненты

- DI1 Кнопка «Вверх» (замыкающий контакт)
- DI2 Верхний конечный выключатель (замыкающий контакт)
- DI3 Кнопка «Вниз» (замыкающий контакт)
- DI4 Нижний конечный выключатель (замыкающий контакт)
- DI5 Датчики (размыкающие контакты)
- DI6 Кнопка «Стоп» (замыкающий контакт)
- DI7 Кнопка аварийного останова (замыкающий контакт)
- DO1 Платформа едет вверх
- DO2 Платформа едет вниз
- DO3 Предупреждающий световой сигнал

Задание №3 «Управление и контроль загрузочных устройств бункеров на базе ПЛК ADAM»

С помощью контроллера ADAM-4500 необходимо реализовать управление и контроль загрузочных устройств бункеров. Бункеры заполняются через загрузочный шланг грузового автомобиля сыпучим материалом.

Описание алгоритма работы:

Процесс загрузки может быть начат только тогда, когда включен разблокирующий выключатель на DI1 и загрузочный шланг надлежащим образом подключен. Язычковый контакт на загрузочном штуцере сигнализирует, правильно ли загрузочный шланг соединен с бункером. Это сигнал считывается в ADAM через вход DI2. Затем открывается запорный

клапан на Q2, после чего в бункер закачивается сыпучий материал. Одновременно вводится в действие выпускной фильтр на DO1. Он должен быть включен в течение всего процесса заполнения.

Если бункер полон, то это сигнализируется через предельный выключатель уровня заполнения на DI3. Звуковой сигнал сообщает оператору, что до автоматического завершения процесса еще осталось 99 секунд. В течение этого времени должен быть закрыт клапан на грузовом автомобиле, чтобы еще освобождался от содержимого загрузочный шланг. Звуковой сигнал может быть досрочно отключен с помощью квитирующей кнопки на DI6, или он будет автоматически выключен через 25 секунд.

Если шланг не удалось своевременно освободить, то по средствам кнопки DI5 можно выполнить аварийное заполнение в течение 30 секунд.

Контроль избыточного давления в бункере также автоматически отключает процесс заполнения. Это отображается с помощью сигнальной лампы на DO4.

Используемые компоненты

- DI1 Деблокирующий выключатель (замыкающий контакт)
- DI2 Язычковый контакт загрузочного штуцера (замыкающий контакт)
- DI3 Предельный выключатель уровня заполнения (замыкающий контакт)
- DI4 Выключатель избыточного давления (размыкающий контакт)
- DI5 Кнопка аварийного заполнения (замыкающий контакт)
- DI6 Кнопка квитирования звукового сигнала (замыкающий контакт)
- DO1 Фильтр
- DO2 Запорный клапан
- DO3 Звуковой сигнал
- DO4 Световой сигнал избыточного давления

Контрольные вопросы к защите

1. При помощи какого программного продукта и каким образом возможно с конфигурировать контроллера?
2. Какая технология позволяет подключать контроллер к SCADA-системе?
3. Возможно ли подключение других контроллеров (LOGO!, VIPA) к SCADA-системе и возможно ли аналогично ПЛК ADAM прошить ядро системы в ПЛК?
4. Какой язык программирования стандарта МЭК 6 используется для создания встраиваемого ядра MasterSCADA?
5. Возможно ли создание визуализации при помощи подключения разных ПЛК одновременно?
6. Какой интерфейс связи необходим для прошивки ПЛК?

Способ оценки результатов

По лабораторной работе предусмотрена защита. Лабораторная работа будет зачтена, если преподавателю будут продемонстрирована программа, отрабатывающая полученное задание, а также, если студент ответит на

заданные преподавателем вопросы. Папка с созданным проектом передается преподавателю.

Лабораторная работа №2. Управление микроклиматом помещения на базе ПЛК серии ADAM-4500

Требования к содержанию, оформлению и порядку выполнения

Перед выполнением лабораторной работы студент должен изучить теоретическую часть курса. Студент, выполняющий лабораторную работу в составе с реальным лабораторным стендом, обязан получить к ней допуск путем собеседования с преподавателем, который заключается в подтверждении готовности студента к ее выполнению, а именно, знание основ теории по данной теме, порядка выполнения лабораторной работы, особенностей и правил работы с лабораторным стендом. Преподаватель определяет вариант задания для выполнения лабораторной работы конкретным студентом.

Студент при работе с персональным компьютером, на котором установлено прикладное и коммуникационное программное обеспечение для работы с данным лабораторным стендом, должен создать новую папку под именем «Ваша фамилия, Лабораторная работа №_» (например: «Симонов А.М. Лабораторная работа №2»).

Выполнение лабораторной работы производится в 2 этапа:

4. Разработка программы и отладка ее на программном эмуляторе того продукта, который предназначен для данного стенда.
5. Демонстрация преподавателю работы отлаженной программы, которая должна функционировать в составе с реальным лабораторным стендом в строгом соответствии с полученным заданием (только для студентов очной формы обучения).
6. Сохранение созданного проекта, содержащего разработанную и отлаженную программу, в вышеуказанную папку.

После успешного выполнения лабораторной работы студент должен оформить отчет в соответствии с предъявляемыми требованиями и осуществить ее защиту, проводимую в форме собеседования с преподавателем. Цель защиты – подтверждение факта самостоятельного выполнения лабораторной работы и определение степени усвоения студентом теоретического материала по данной теме.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд выполнен в переносном корпусе чемоданного типа, он состоит из верхней откидной панели, и нижнего основания. В нижней части смонтированы: блок питания, промышленный контроллер, модули ввода-вывода, устройства коммутации, органы управления и индикации. В верхней части стенда смонтированы органы индикации и цифровые измерительные модули аналоговых сигналов. Ниже приведены

электрические принципиальные схемы и схемы монтажные исполнения лабораторного стенда. На схемах введены обозначения:

- A1 – блок питания 24VDC;
- A2, A5-A8 – преобразователь напряжения 24/12 VDC;
- A3 – вентилятор;
- A4 – стабилизатор напряжения 5 VDC;
- A9-A12 – вольтметр цифровой;
- A14 – силовой ключ;
- A15 – элемент Пельтье;
- A16 – ПЛК ADAM-4500, базовый модуль;
- A17 – модуль аналогового ввода ADAM-4013;
- A18 – модуль аналогового вывода ADAM-4024;
- A19 – модуль дискретного ввода-вывода ADAM-4050;
- K1 – электромагнитное реле;
- T1-T4 – термоэлектрический преобразователь;
- VD2-VD17 – светодиод (средства индикации);
- S1-S15 – переключатели (органы управления);
- X1-X2 – клеммные соединители и разъемы – средства коммутации.

Модули ввода-вывода имеют следующие обозначения входов и выходов:

- дискретный ввод – DI;
- дискретный вывод – DO;
- аналоговый ввод/вывод – V;

Подключение к сети питания 220В, 50 Гц и к персональному компьютеру осуществляется специальными кабелями под контролем преподавателя.

Общая постановка задачи

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен получить навыки работы с контроллерами фирмы Advantech модификации ADAM-4500 и программного обеспечения SCADA-системы MasterSCADA v.2.5, С-ядро которой прошито в ПЛК. В процессе выполнения лабораторной работы студент должен правильно подобрать необходимую для решения поставленной задачи конфигурацию промышленного контроллера с установленным набором модулей, произвести прошивку ПЛК на основе SCADA-системы, определить величины входных сигналов и их типы, создать исполнительную программу на базе стандартных функциональных блоков, входящих в программное обеспечение MasterSCADA. При работе с программным продуктом MasterSCADA необходимо также получить навыки создания визуальных объектов и мнемосхем, в том числе интерактивных и анимированных.

Выполнение работы

Задание №1 «Управление микроклиматом на базе ПЛК ADAM»

На базе контроллера ADAM-4500 необходимо разработать систему управления воротами и освещением гаража.

Описание алгоритма работы:

Нажатие на кнопку DI3 включает освещение в гараже (DO11) и включает двигатель, открывающий ворота гаража (DO9). Двигатель выключается по срабатыванию концевого выключателя (DI5). Кнопка DI4 включает двигатель закрытия ворот (DO10). Отключение двигателя закрытия ворот выполняет концевой выключатель DI6. Свет должен гореть, пока работает датчик движения. Имитация работы датчика выполнена на DI7 (есть движение) и DI8 (нет движения). Индикация движения в гараже выполнена на DO12.

Свет в гараже гаснет через 5 секунд после закрытия ворот гаража, если нет движения. На экране компьютера должно отражаться включение-выключение двигателей управления воротами, включение-выключение освещения гаража.

Также можно включать/отключать кондиционер (DI1/DI15) и управлять мощностью работы кондиционера AI6. Мощность кондиционера выдается на индикатор №3. Нагреватель включается входом DI2 и выключается DI14. При этом меняется температура в каналах отопления и охлаждения, что отображается на индикаторах 1,2. Напряжение на элементе Пельтье отображается на индикаторе №4.

Используемые компоненты:

- ADAM-4500;
- DI1 кнопка включения вентилятора;
- DI2 кнопка включения нагревателя;
- DI3 кнопка «открыть ворота гаража» (замыкающий контакт);
- DI4 кнопка «закрыть ворота гаража» (замыкающий контакт);
- DI5 концевой выключатель двигателя, открывающего ворота;

- DI6 концевой выключатель двигателя, закрывающего ворота;
- DI7 датчик присутствия (движения);
- DI14 кнопка выключения нагревателя;
- DI15 кнопка выключения вентилятора;
- AI1,2 термопары каналов воздуховода;
- AI6 аналоговый задатчик;
- DO9 двигатель, открывающий ворота;
- DO10 двигатель, закрывающий ворота;
- DO11 освещение гаража;
- DO12 индикатор перемещения;
- AO1 индикация температуры;
- AO2 индикация температуры;
- AO3 индикация процентов мощности кондиционера.

Задание №2 «Управление безопасностью и аварийной вентиляцией помещения на базе ПЛК ADAM»

На базе контроллера ADAM-4500 необходимо реализовать управление охранной сигнализации помещения и аварийной вентиляцией.

Описание алгоритма работы:

Помещение является охраняемым объектом с сигнализацией и возможностью управления вентиляцией. Входы DI1, DI2, DI3, AI6 соответственно обозначают работу датчика разбития стекла, датчика движения, датчика шума, датчик давления на пол (аналоговый) и работают в ночное время (эмуляция временными импульсами). При появлении хотя бы одного компонента начинает работать сигнализация (DO3), при этом происходит блокировка всех возможных замков (DO4). Также есть пожарная сигнализация (DO7), которая срабатывает при превышении максимальной заданной температуры AI1, либо при срабатывании датчика задымления (DI4). При пожарной сигнализации срабатывает аварийная вентиляция (DO1) с повышенной вытяжной мощностью для удаления дыма. Все элементы а также исполнительные устройства, включая звуки сигнализации должны быть представлены на мнемосхеме в виде визуально понятных элементов и существующих звуков.

Используемые компоненты

- DI1 датчика разбития стекла
- DI2 датчика движения
- DI3 датчика шума
- DI4 датчика задымления
- AI1 температура помещения
- AI6 давления на пол помещения
- DO1 аварийная вентиляция
- DO3 охранная сигнализация
- DO4 блокировка замков
- DO7 пожарная сигнализация

Контрольные вопросы к защите

1. Что такое SCADA-система?
2. Различаются ли интерфейсы прошивки и работы контроллера?
3. Можно ли производить загрузку разработанной программы из MasterSCADA?
4. Можно ли прошить в ПЛК отдельную программу помимо уже созданной MasterSCADA, не удаляя ее, если да то каким образом?
5. Что необходимо сделать, чтобы загрузить программу или прошивку в ПЛК, что при этом происходит?
6. Может ли часть программы выполняться на контроллере, а часть на компьютере, если да, то как организовать данный обмен?

Способ оценки результатов

По лабораторной работе предусмотрена защита. Лабораторная работа будет зачтена, если преподавателю будут продемонстрирована программа, отрабатывающая полученное задание, а также, если студент ответит на заданные преподавателем вопросы. Папка с созданным проектом передается преподавателю.

Лабораторная работа №3. Исследование метрологических характеристик виртуальными СИ

Цель работы: Изучить методику определения метрологических характеристик при измерении напряжения постоянного тока виртуальными СИ. Выполнить исследования и произвести оценку результатов измерений.

Общие сведения

Метрологические характеристики средств измерения

По ГОСТ 8.009-84 основные определения представлены следующим образом.

Средство измерений - средство, предназначенное для измерений, вырабатывающее сигнал (показание), несущее информацию о значении измеряемой величины или воспроизводящее величину заданного размера.

Средства измерений - это меры, компараторы, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные системы.

Инструментальная погрешность средства измерений - составляющая погрешности измерений, обусловленная свойствами средств измерений.

Систематическая составляющая погрешности средств измерений - составляющая погрешности данного экземпляра средства измерений при одном и том же значении измеряемой или воспроизводимой величины и неизменных условиях применения средства измерений, остающаяся постоянной или изменяющаяся настолько медленно, что ее изменениями за время проведения измерений можно пренебречь, или изменяющаяся по определенному закону, если условия изменяются.

Дополнительная погрешность средства измерений - разность (без учета знака) между значением погрешности, соответствующим некоторому заданному значению влияющей величины в пределах рабочих условий применения и значением погрешности, соответствующим нормальному значению влияющей величины.

Основная погрешность средства измерения обусловлена неидеальностью средства измерений, т.е. отличием действительной функции преобразования средства измерений в нормальных условиях от номинальной функции преобразования. Основная и дополнительная погрешности - это статическая погрешность средства измерения.

Динамическая погрешность средства измерений обусловлена реакцией средства измерений на скорость (частоту) изменения входного сигнала.

Обозначения погрешностей средств измерения (СИ)

- Δ - погрешность конкретного экземпляра средства измерений;
- Δ_o - основная погрешность средства измерений;
- Δ_p - предел допускаемой погрешности СИ;
- Δ_{op} - предел основной погрешности СИ;
- Δ_{os} - систематическая составляющая основной погрешности;
- Δ_{osp} - предел систематической составляющей основной погрешности СИ;
- Δ_c - дополнительная погрешность СИ;
- Δ_{ci} - дополнительная погрешность, связанная с i -м значением влияющей величины;
- Δ_{st} - статическая погрешность СИ;
- Δ_{dyn} - динамическая погрешность СИ;
- Δ_{instr} - инструментальная погрешность СИ;
- $\sigma[^\circ]$ - символ среднеквадратического отклонения;
- $\sigma[\Delta]$ - среднеквадратическое отклонение погрешности СИ данного типа;
- $\sigma[\Delta_s]$ - среднеквадратическое отклонение систематической погрешности;
- $\bar{\Delta}'$ - среднее значение погрешности СИ в точке X диапазона измерений, полученная экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра входного сигнала при подходах со стороны меньших значений;
- $\bar{\Delta}''$ - среднее значение погрешности СИ в точке X диапазона измерений, полученная экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра входного сигнала со стороны больших значений;
- $\tilde{\sigma}[\Delta]$ - оценка среднеквадратического отклонения погрешности СИ данного типа;

$\tilde{\sigma}[\Delta_{os}]$ - оценка среднеквадратического отклонения систематической составляющей основной погрешности;

$\dot{\Delta}_o$ - случайная составляющая основной погрешности;

$\dot{\Delta}_{OH}$ - случайная составляющая основной погрешности, вызванной гистерезисом.

Оценка результатов эксперимента

Имеются реализации погрешности Δ'_i (при подходе снизу) и Δ''_i , (при подходе сверху).

1. Определяются центры группирования:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'_i; \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta''_i \quad (3.1)$$

2. Определяются центрированные реализации в каждой группе:

$$\dot{\Delta}'_i = \Delta'_i - \bar{\Delta}'; \quad \dot{\Delta}''_i = \Delta''_i - \bar{\Delta}''; \quad (3.2)$$

Центрированные реализации считаются принадлежащими к одной генеральной совокупности и обозначаются через $\dot{\Delta}'_i$, где $i = 1, 2, \dots, 2n$.

3. Определяется оценка систематической составляющей основной погрешности:

$$\tilde{\Delta}_{os} = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2} \quad (3.3)$$

4. Определяется оценка среднеквадратического значения случайной составляющей основной погрешности:

$$\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_o] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \dot{\Delta}_i^2}{2n-1}} \quad (3.4)$$

5. Определяется оценка вариации \tilde{H}_o

$$\tilde{H}_o = |\bar{\Delta}' - \bar{\Delta}''| \quad (3.5)$$

Оценка метрологического качества при решении метрологических задач

В соответствии с рекомендациями по метрологии Р 50.2.004-2000, которые распространяются в сфере государственного метрологического контроля и надзора на процедуры установления количественного соответствия между физическими объектами и их математическими моделями, на математическое обеспечение, вычислительные и программные средства, установлен принцип определения погрешности неадекватности математической модели объекту измерения. Для этого введено понятие измерительной задачи. Это – задача установления

количественного соответствия между свойствами физического объекта и характеристиками его математической модели. Решение подобных задач особенно целесообразно при выполнении виртуальных измерений с использованием схемы перекрестного наблюдения погрешностей на примере измерения напряжения постоянного тока виртуальными СИ. Объект измерения – делитель напряжения, состоящий из резисторов R1 и R2, подключенных к источнику постоянного напряжения. При этом сопротивлении R1 остается постоянным, а сопротивление R2 изменяется в широком диапазоне.

Определяются значения тока и напряжения расчетным путем и измеряются виртуальными СИ (амперметр, вольтметр). Оценка погрешности результатов измерений производится не только сравнением расчетных и экспериментальных данных, но и определением степени нелинейности выходного напряжения делителя, в зависимости от изменения сопротивления R2. Решение подобной задачи необходимо, т.к. элементы делителей используются в схемах аналого-цифровых преобразователей (источники опорного входного напряжения) и цифроаналоговых преобразователей (управляемые кодом делители), от которых зависят погрешности преобразования.

Построение функции преобразования (математической модели) рассматривается на примере использования «способа средней», который не требует изображения экспериментальных данных и состоит в следующем. Пусть значения экспериментальных данных приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

X	X ₁	X ₂	X ₃	...	X _{n-1}	X _n
Y	Y ₁	Y ₂	Y ₃	...	Y _{n-1}	Y _n

Если между X и Y установлена линейная зависимость $y=ax+b$, экспериментальные значения y_i будут отличны от ax_i+b вследствие наличия ошибок Δ_i :

$$\Delta_i = y_i - ax_i - b \quad (i=1,2,\dots,n)$$

Если выбирать параметры a и b так, чтобы для всех наблюдений $\sum_{i=0}^n \Delta_i = 0$,

то уравнивание происходит не только для всех значений X_i и Y_i но и для каждой группы, содержащей половину всех наблюдений в отдельности.

В таком случае система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m (y_i - ax_i - b) = 0 \\ \sum_{i=m+1}^n (y_i - ax_i - b) = 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

где m – выбирают так, чтобы число наблюдений m в первой группе равнялось числу наблюдений m во второй группе, если n - четно, и $m \pm 1$, если n - нечетно.

Полученная система для определения коэффициентов a и b имеет вид:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^m x_i + mb = \sum_{i=1}^m y_i \\ a \sum_{i=m+1}^n x_i - (n-m)b = \sum_{i=m+1}^n y_i \end{cases} \quad (3.7)$$

коэффициенты a и b определяются из выражений:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m y_i & m \\ \sum_{i=m+1}^n y_i & (n-m) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m x_i & m \\ \sum_{i=m+1}^n x_i & (n-m) \end{vmatrix}}; \quad b = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=m+1}^n x_i & \sum_{i=m+1}^n y_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m x_i & m \\ \sum_{i=m+1}^n x_i & (n-m) \end{vmatrix}} \quad (3.8)$$

Таким образом, способ средней дает прямую

$$y = -ax + b \quad (3.9)$$

а погрешность неадекватности математической модели экспериментальным данным определяется выражением:

$$\Delta_i = U_{i(\text{эксн})} - y_{i(\text{модели})} \quad (3.10)$$

Описание лабораторной установки

Для исследования метрологических характеристик при измерении напряжения постоянного тока используется схема модели, приведенная на рис. 3.1, выполненная с использованием элементов пакета Simulink. Схема содержит: источник постоянного напряжения ($U=1,5\text{В}$); резисторы $R1$ и $R2$; виртуальные приборы: амперметр (A) и вольтметр (V).

Оценка систематической и случайной составляющих основной погрешности виртуального вольтметра.

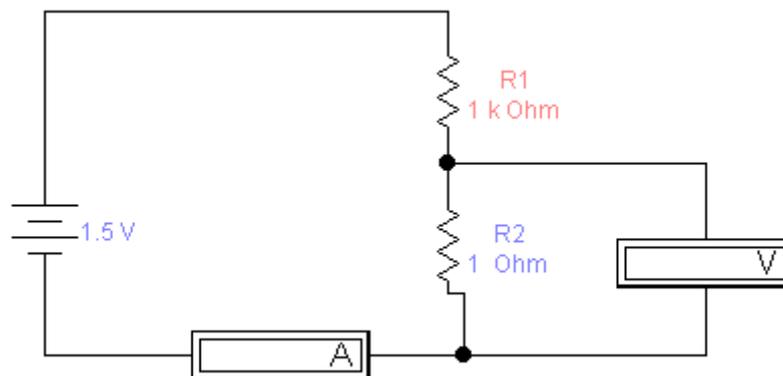


Рис. 3.1. Схема измерения постоянного напряжения

1. В соответствии со схемой на рис. 3.1 последовательно изменяя R2 от 10 до 100 Ом измерить токи I_э и напряжения U_э. Всего выполнить n измерений (n=10). Измеренные и расчетные значения I_р, U_р, I_э, U_э записать в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

№ п/п	R ₂ , Ом	R ₁ +R ₂ , Ом	I _р , мА	U _р = I _р · R ₂ , мВ	I _э , мА	U _э , мВ	Δ _{li} = U _{ip} - U _{iэ} , мВ	⁰ Δ _i	^{0 2} Δ _i
1									
2									
...									
10									
					$\sum_{i=1}^{10} I_{iэ} =$	$\sum_{i=1}^{10} U_{iэ} =$	$\Delta_1 = \sum_{i=1}^{10} \frac{\Delta_{li}}{10}$		$\tilde{\sigma} \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ \Delta \end{smallmatrix} \right] =$

2. Вычислить $\Delta'_{li} = U_{ip} - U_{iэ}$ для каждого из n-значений.

3. Определить центр группирования: $\bar{\Delta}'_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'_{li}$ Значение $\bar{\Delta}'_1 = \Delta_{os}$

4. Определить случайные составляющие погрешности: $\Delta^0_{li} = \Delta'_{li} - \bar{\Delta}'_1$

5. Определить оценку среднеквадратического значения случайной составляющей основной погрешности:

$$\tilde{\sigma} \left[\begin{smallmatrix} 0 \\ \Delta_0 \end{smallmatrix} \right] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{li}^2}{n-1}} .$$

6. Заполнить табл.1.3, для чего выполнить проверку отклонений измеренных значений от линейной зависимости:

$$\Delta_{2i} = U_{(i+1)э} - U_{iэ}$$

Вычислить среднее значение $\bar{\Delta}_2$ и случайную составляющую погрешности отклонения от линейной зависимости:

$$\Delta_{2i}^0 = \Delta_{2i} - \bar{\Delta}_2.$$

Определить уравнение модели по способу средних:

$$y = -ax + b,$$

и вычислить погрешность неадекватности математической модели экспериментальным данным:

$$\Delta_i = U_{i(\text{эксн})} - y_{i(\text{модели})}.$$

Данные значений занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3.

	$\Delta_{2i}, \text{ мВ}$	$\Delta_{2i}^0 = \Delta_{2i} - \bar{\Delta}_2$	$U_{\text{ср}}$	$\Delta_{3i} = U_{i\text{э}} - y_{\text{ср}}$
1				
2				
·				
·				
·				
10				
	$\bar{\Delta}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} \Delta_{2i}$			

7. По данным табл. 3.2, 3.3 построить зависимости: $U_{ip}=f(I_{ip})$; $U_{i\text{э}}=f(I_{i\text{э}})$, $y = -ax + b$; $\Delta_{1i}=f(I_{i\text{э}})$, $\Delta_{2i}=f(I_{i\text{э}})$, $\Delta_i=f(I_{i\text{э}})$ и сравнить их между собой.

Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с типовой формой. Кроме того, отчет должен содержать:

- номер и наименование лабораторной работы;
- цель работы;
- схему измерений;
- заполненные таблицы 3.2, 3.3;
- выводы о соотношении составляющих погрешности.

Лабораторная работа №4. Исследование метрологических характеристик АЦП и ЦАП

Цель работы: изучить принцип действия и основные параметры микроэлектронных цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей /ЦАП и АЦП/.

Исследовать метрологические характеристики ЦАП и АЦП и выполнить оценку их динамической погрешности.

Общие сведения

Цифроаналоговые преобразователи.

Под цифроаналоговыми преобразователями (ЦАП) понимают устройства, позволяющие осуществить переход от информации в цифровой форме, к информации в аналоговой форме. Эти преобразователи широко используют в системах цифровой обработки данных, в устройствах управления, для вывода информации из ЭВМ и передачи ее на исполнительные устройства и т.п.

В ЦАП входным сигналом является цифровой код в различных системах счисления, а выходным соответствующее ему значение аналоговой величины в виде напряжения постоянного тока, временного интервала и т.п. В ЦАП, построенных на микросхемах, в качестве входного сигнала чаще всего используют двоичный позиционный код или построенный на его основе десятичный код. Выходным сигналом является напряжение постоянного тока. Подобные ЦАП будут и будут рассмотрены далее.

Цифроаналоговое преобразование состоит в суммировании эталонных значений напряжений, соответствующих разрядам входного кода, причем в суммировании будут участвовать только те эталоны, для которых в соответствующих разрядах состоит единица. Структурная схема ЦАП в общем виде показана на рис.4.1. Для ЦАП выходное напряжение определяется следующим образом:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{он}} (b_1 2^1 + b_2 2^2 + \dots + b_n 2^n), \quad (4.1)$$

где $U_{\text{он}}$ - опорное (эталонное) значение напряжения; b_1, b_2, \dots, b_n - коэффициенты двоичных разрядов, принимающие значения 0 или 1.

Основными параметрами ЦАП являются:

1. Разрешающая способность, определяемая количеством двоичных разрядов входного кода и характеризующаяся возможным количеством уровней аналогового сигнала.

2. Точность, определяемая наибольшим значением отклонения аналогового сигнала от расчетного. Она обычно выражается в виде половины уровня сигнала, соответствующего младшему значащему разряду (МЗР). Суммарная ошибка, вносимая элементами ЦАП, не должна превышать указанную погрешность квантования.

3. Нелинейность, характеризующаяся максимальным отклонением линейно-нарастающего выходного напряжения от прямой линии, соединяющей точки нуля и максимального выходного сигнала (обычно не выше $\pm 1/2$ значения МЗР).

4. Время преобразования (установления), определяемое интервалом времени от момента подачи цифрового сигнала до момента достижения выходным сигналом установившегося значения.

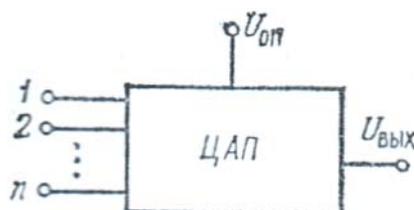


Рис. 4.1. Структурная схема ЦАП

Как правило, ЦАП содержит резистивную матрицу, с помощью которой формируются выходные сигналы, пропорциональные входному коду; набор токовых ключей, реализующих коэффициенты двоичных разрядов; выходной усилитель и источник опорного стабилизированного напряжения. Кроме того, обычно в схему включают устройство, обеспечивающее согласование входа ЦАП с цифровыми микросхемами.

Рассмотрим принципы построения основных узлов ЦАП.

Резистивная матрица может иметь различную структуру. Один из ее вариантов (с весовыми резисторами) показан на рис. 4.2,а. Здесь каждому разряду соответствует свой разрядный ток I_1, I_2, \dots, I_n .

Эти токи задаются с помощью матрицы резисторов, сопротивления которых удваиваются при переходе от старшего разряда к младшему. Основной недостаток рассмотренной структуры - широкий диапазон сопротивлений и их высокая требуемая точность, особенно при большом числе разрядов входного кода. Другой вариант резистивной матрицы (с резистивной сеткой $R-2R$), получивший широкое распространение, показан на рис. 4.2,б. Здесь используются резисторы только двух номиналов. Формирование тока, соответствующего данному разряду, в этой схеме осуществляется как за счет последовательных, так и параллельных цепей сопротивления. При переходе от старшего разряда к младшему ток изменяется в два раза (как и в схеме, показанной на рис. 4.2,а).

Токовые ключи, предназначенные для коммутации элементов резистивной матрицы, должны иметь высокое быстродействие и не вносить заметных погрешностей в разрядные токи. Ключи быстродействующих ЦАП строятся обычно на биполярных транзисторах и диодах, для преобразователей среднего и низкого быстродействия широко применяются ключи на КМДП - транзисторах, характеризующимся малым потреблением энергии.

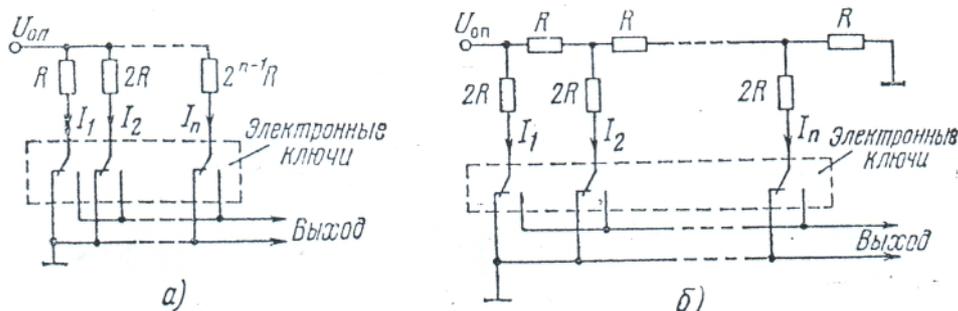


Рис. 4.2. Резистивные матрицы:

а) с весовыми резисторами; б) с резистивной сеткой R-2R

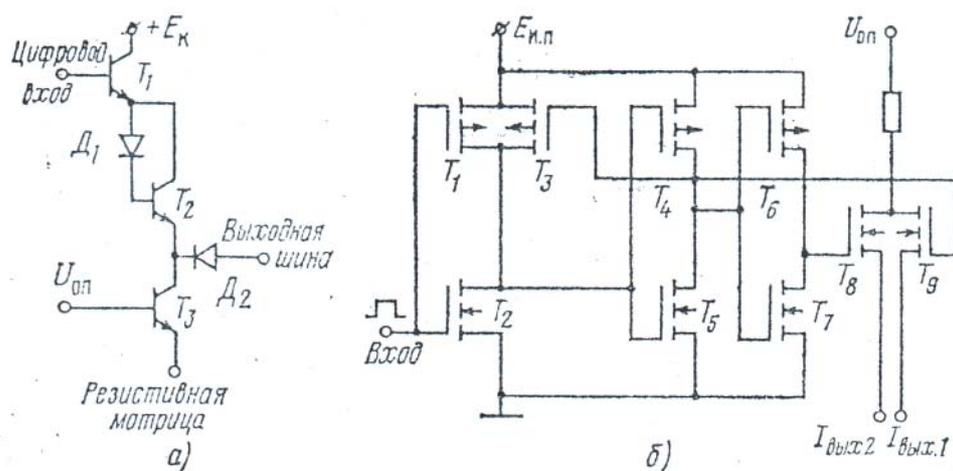


Рис.4.3. Варианты полупроводниковых ключей: а) на биполярных транзисторах и диодах; б) на МКДП - транзисторах

Один из вариантов ключа на биполярных полупроводниковых приборах показан на рис. 4.3,а. Если на цифровой вход подан сигнал 0, транзисторы T_1 , T_2 и диод D_1 закрыты и ток выходной шины течет через открытый транзистор T_3 . При подаче на вход сигнала 1 транзисторы T_1 , T_2 и диод D_1 открываются, а диод D_2 закрывается и отключает выходную шину. Транзистор T_3 все время открыт, поэтому через резисторы матрицы течет постоянный ток. Этим достигается отсутствие отрицательного влияния на быстродействие постоянных времени эмиттерных цепей и постоянных времени, зависящих от сопротивлений матрицы.

Вариант ключа на КМДП – транзисторах показан на рис.4.3,б. В этой схеме транзисторы T_1 - T_3 служат для согласования с микросхемами на входе ЦАП, транзисторы T_4 - T_7 используются для управления ключевыми транзисторами T_8 - T_9 , которые подключают разрядные токи резистивной матрицы к одной из двух выходных шин. Через транзистор T_3 осуществляется положительная обратная связь для уменьшения времени переключения (до 500 нс).

Выходным усилителем обычно служит ОУ, который суммирует разрядные токи. Напряжение на выходе ОУ пропорционально входному коду:

$$U_{oy} = I_{\Sigma} R_{oy} = \frac{R_{oy}}{2R} U_{оп} \sum_{i=1}^n b_i 2^{-i} = \frac{R_{oy}}{2R} U_{оп} N, \quad (4.2)$$

где R_{oy} - сопротивление обратной связи ОУ; N - входной код.

Рассмотренные основные узлы ЦАП выпускаются отечественной промышленностью в виде отдельных микросхем и в комплекте.

Микросхема ЦАП

Микросхема ЦАП выполнена на базе полупроводниковой технологии с использованием тонкопленочных резисторов на кристалле. Примером такого

преобразователя является десятиразрядный ЦАП - микросхема К572ПА1А, содержащая матрицу резисторов и ключи на КМДП - транзисторах.

Микросхема предназначена для преобразования 10-разрядного прямого параллельного двоичного кода на цифровых входах в ток на аналоговом выходе, который пропорционален значениям кода и /или/ опорного напряжения. В состав ЦАП К572 ПА1 входят прецизионная резисторная матрица /РМ/, усилители - инверторы /УИ/ для управления токовыми ключами, токовые двухпозиционные ключи (рис. 4.4).

Для работы в режиме с выходом по напряжению к ИС ЦАП К 572 ПА1 подключаются внешние ИОН и ОУ с цепью отрицательной обратной связи /ЦОС/, работающий в режиме суммирования токов.

Нумерация и назначение выводов микросхемы: 1- аналоговый выход 1; 2 - аналоговый выход 2; 3 - общий вывод; 4 - цифровой вход 1; 5-12-цифровые входы 2-9; 13 - цифровой вход 10; 14 - напряжение источника питания; 15 - опорное напряжение; 16 - вывод резистора обратной связи.

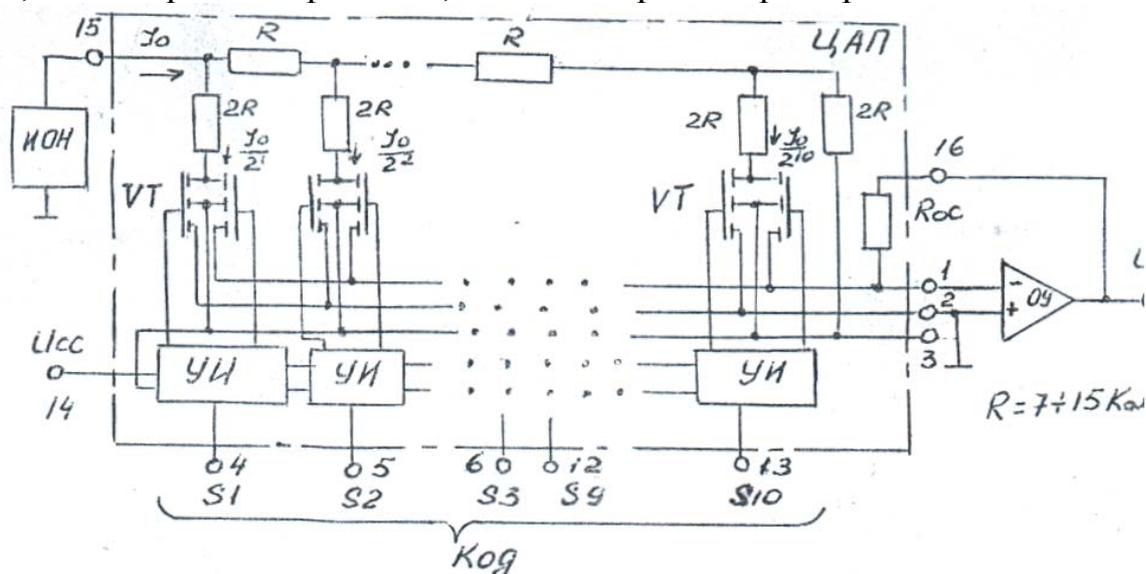


Рис. 4.4. Упрощенная функциональная электрическая схема ЦАП

Метод преобразования, используемый в ИС К572ПА1, предполагает суммирование в соответствии с заданным значением двоичного кода всех разрядных токов, взвешенных по двоичному закону и пропорциональных значению опорного напряжения на выводе 15.

Принципиальная схема преобразователя показана на рис. 4.5. В схеме использована матрица с резистивной сеткой $R-2R$ с резисторами двух номиналов R_1-R_9 , $R_{22}=10\text{кОм}\pm 30\%$, $R_{10}-R_{21}=20\text{кОм}\pm 30\%$. Параметры преобразователя: $E_{u.n.}=15\text{В}$, $U_{on}=10,24\text{ В}$, $U_{ex}^1 \geq 2,4\text{В}$, $U_{ex}^0 \leq 0,8\text{В}$. По входам ЦАП согласован с ТТЛ микросхемами. Нелинейность не более $\pm 0,8\%$ от полной шкалы, время установления входного тока $T_{уст}=5\text{мкс}$. Имеются разновидности этой микросхемы: К572ПА1Б, К572ПА1В, К572ПА1Г, имеющие соответственно 9,8 и 7 разрядов.

Схемы преобразователя код - напряжение, выполненные на базе микросхем К572ПА1А, показаны на рис.4.6. В первом случае (а) выходное напряжение однополярное, во втором (б)- двухполярное.

Опорное напряжение в обеих схемах может выбираться разной полярности. Это позволяет использовать схему на рис. 4.6,а как двухквadratic преобразователь, а схему на рис. 4.6,б - как четырехквadratic.

Другим примером ЦАП, выполненного на базе полупроводниковой технологии, служит двенадцатирядный преобразователь К594ПА1А, содержащий резистивную матрицу, биполярные токовые ключи и ОУ. Он имеет меньшее, чем у рассмотренного выше преобразователя время установления $T_{уст} = 3,5 \text{ мкс}$.

Перспективы развития ЦАП: уменьшение $T_{уст}$ до десятых долей микросекунд и менее в результате повышения быстродействия ключей и уменьшения времени установки ОУ; повышение точности преобразователя (до 0,05-0,003%) за счет улучшения качества резистивных матриц, ключей, стабильности источника опорного напряжения и увеличения разрядности преобразователя (до 14-16).

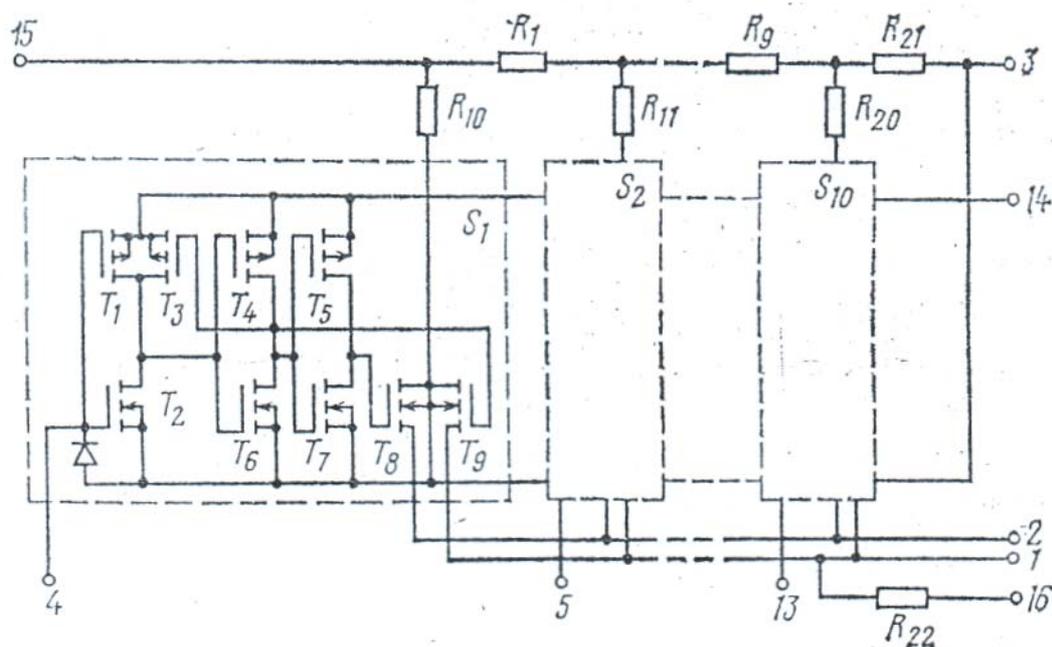


Рис. 4.5. Десятиразрядный ЦАП К572ПА1А

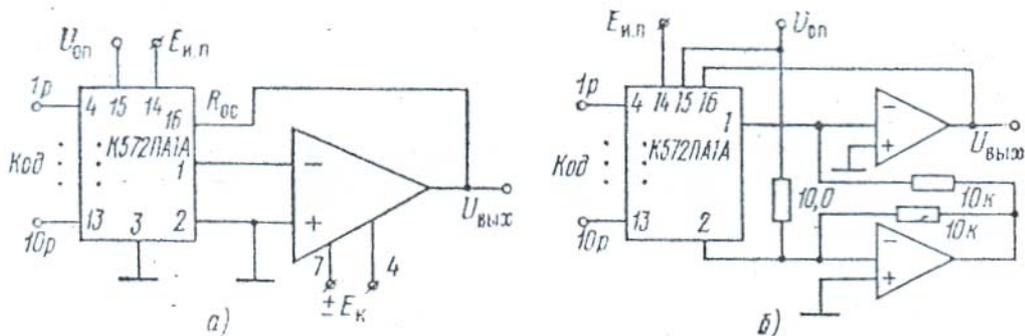


Рис. 4.6. Варианты построения преобразователей двоичного кода в

напряжение на базе микросхем К572ПА1А:

а)- двухкватратный преобразователь;

б)- четырехкватратный преобразователь

Аналого-цифровые преобразователи

Под аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) понимают устройства, позволяющие осуществить переход от информации в аналоговой форме к информации в цифровой форме. Эти преобразователи широко используют для ввода в ЭВМ аналоговых данных, при цифровом измерении сигналов. Вместе с ЦАП рассматриваемые преобразователи используются в системе обработки данных, построенных на базе микропроцессоров.

В микроэлектронных АЦП входным сигналом является напряжение, выходным - соответствующее ему значение цифрового кода (обычно двоичного). Структурная схема АЦП в общем виде показана на рис. 4.7. В рассматриваемом АЦП происходит квантование входного напряжения на конечное число дискретных уровней.

Основные параметры АЦП: разрядность, точность преобразования, зависящая от шага квантования и ошибок, вносимых основными узлами АЦП, а также время преобразования, необходимое для представления мгновенного значения аналогового сигнала в цифровой форме.

Состав АЦП, в отличие от ЦАП, может изменяться в значительной степени в зависимости от метода преобразования и способа его реализации. Наибольшее распространение получили три основных метода: последовательного счета, поразрядного кодирования и считывания.

Метод последовательного счета основан на уравнивании входной величины суммой одинаковых и минимальных по величине эталонов. Момент уравнивания определяется с помощью одного сравнивающего устройства, а количество эталонов, уравнивающих входную величину, подсчитывается с помощью счетчика.

Метод поразрядного кодирования (уравнивания) предусматривает наличие нескольких эталонов. Уравнение преобразования идеального однополярного АЦП записывается в виде:

$$N_{10} = \text{int} \left[\frac{u}{U_m} (2^R - 1) \right] \quad (4.3)$$

где $\text{int}[X]$ - функция, выделяющая целую часть числа X . минимальное изменение напряжения на входе АЦП, которое приводит к изменению выходного кода, называемое разрешающей способностью, равно $U_m/(2^R-1)$.

Система метрологических параметров преобразователей, отражающая особенности их построения и функционирования, объединяет несколько десятков параметров, важнейшими из которых являются:

- число разрядов R – количество разрядов кода, связанного с аналоговой величиной, которое может воспринимать ЦАП или вырабатывать АЦП;

- абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы-отклонения значения для АЦП и выходного для ЦАП напряжения от номинального значения, соответствующего конечной точке функции преобразования (часто эта погрешность называется мультипликативной);

- дифференциальная погрешность – отклонение разности двух аналоговых сигналов, соответствующих двум соседним кодам, от значения ЕМР;

- время установления выходного напряжения – интервал времени от момента заданного изменения кода на входе ЦАП до момента, при котором выходное аналоговое напряжение войдет в зону шириной в одну ЕМР, симметрично расположенную относительно установившегося значения;

- время преобразования – интервал времени от момента заданного изменения сигнала на входе АЦП до появления на его выходе соответствующего устойчивого кода.

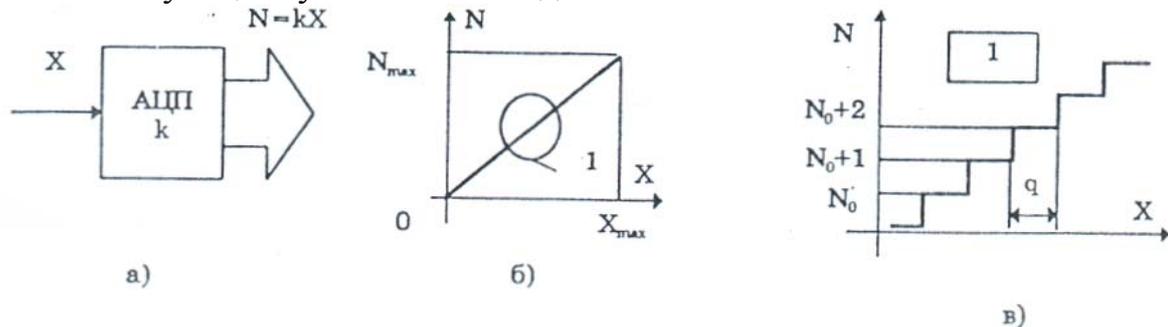


Рис.4.7. Обозначения в структурных схемах (а), передаточные функции (б) и части передаточных функций (в) АЦП

Приведенное значение дисперсии результирующей погрешности АЦП с равномерной шкалой квантования для случайного сигнала с нормальным распределением спектра при $M=0$ определяют по формуле:

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{1}{12 \cdot 2^{2n}} + \frac{\sigma_x^2 T_{np}^2}{9} = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{2^{2n+2}} + \frac{\alpha^2 T_{np}^2}{3} \right), \quad (4.4)$$

где $\sigma_x^2 = \left| \ddot{R}_x(\tau) \right|_{\tau=0}$ - дисперсия производной процесса; $\ddot{R}_x(\tau)$ - вторая производная корреляционной функции процесса $x(t)$; T_{np} - время преобразования;

$$\alpha = \left[\sqrt{1 + \sqrt{2}} \right] 2\pi F_{max}, \quad (4.5)$$

где F_{max} - максимальная частота входного сигнала; для последовательного АЦП $T_{np} = an$, где n - число разрядов, a - быстродействие.

Промышленность выпускает большое число микроэлектронных ЦАП (шифр ПА в типе) и АЦП (шифр ПВ). Основные метрологические параметры некоторых из них приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Метрологические параметры микроэлектронных ЦАП и АЦП

Тип	Число разрядов	ЕМР ($U_m = 10В$), мВ	Дифференциальная нелинейность	Погрешность в конечной точке шкалы	Время установления (преобразования), мкс
К572ПА2А	12	2,5	$\pm 0,0257$,	± 20 ЕМР	15
К1108ПА1А	12	2,5	$\pm 0,024\%$	± 30 ЕМР	0.4
К1118ПА1	8	40	$\pm 0,195\%$	± 5 мА	0,04
К1118ПА3	8	40	$\pm 0,195\%$	± 2 мА	0,01
К572ПВ3	8	40	$\pm 0,75$ ЕМР	± 3 ЕМР	7.5
К1107ПВ1	6	30	$\pm 0,78 \%$	$\pm 0,1$ В	0,1
К1108ПВ1А	10	5	$\pm 0,75$ ЕМР	± 4 ЕМР	0,9
К1108ПВ2	12	1,2	± 1 ЕМР	± 10 ЕМР	2

Библиотечные ЦАП и АЦП

В библиотеке программы EWB 4.1 преобразователи представлены 8-разрядными ЦАП и АЦП. Схема включения библиотечного ЦАП приведена на рис. 4.8. Она содержит собственно ЦАП (DAC U) два источника опорного напряжения $+U_{op}$ и $-U_{op}$, генератор слова и осциллограф.

Выходное напряжение ЦАП определяется выражением:

$$U_0 = D \left[(+U_{op}) + (-U_{op}) \right] / 256, \quad (4.6)$$

где D - десятичный эквивалент входного двоичного кода (например, при входном коде 00000011 D=3). Задавая соответствующие кодовые комбинации на выходе генератора слова, можно с помощью осциллографа Da измерить максимальное выходное напряжение ЦАП, а также минимальное, соответствующее младшему разряду и определяющему разрешающую способность ЦАП.

Нумерация разрядов показана на графическом значке ЦАП, осциллограмма - на рис. 4.9.

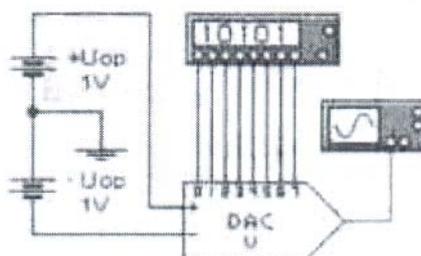


Рис.4.8. Схема включения библиотечного ЦАП

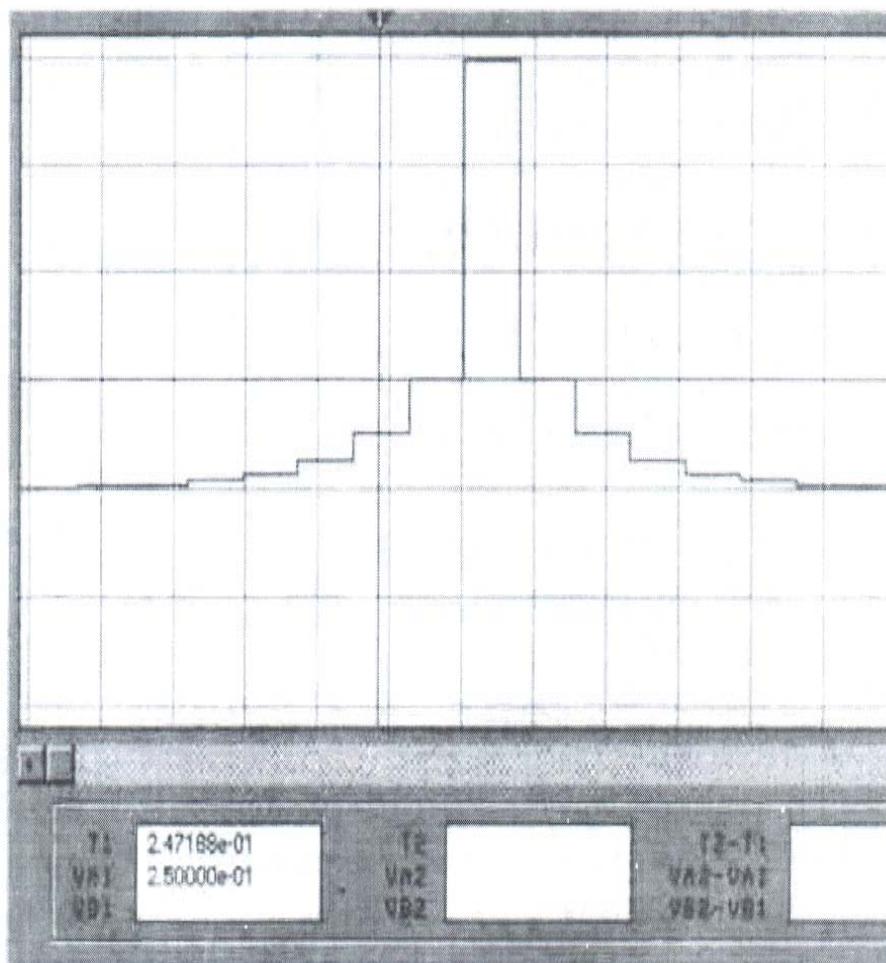


Рис.4.9. Осциллограмма выходного напряжения ЦАП

$$D = 256U_i / [(+U_{op}) + (-U_{op})].$$

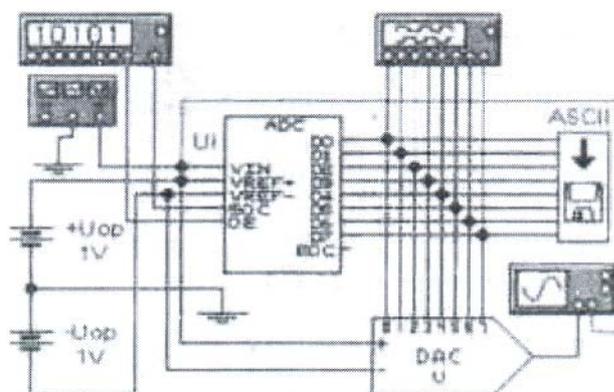


Рис.4.10. Схема включения библиотечного АЦП

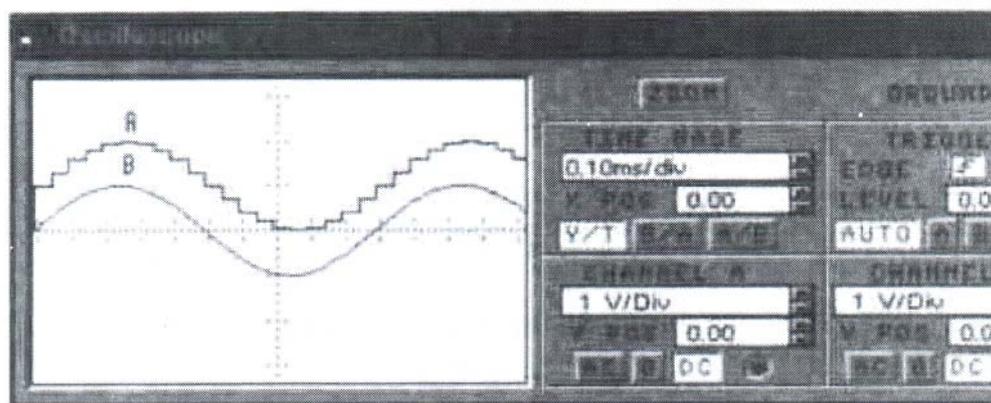


Рис. 4.13. Осциллограммы выходного сигнала ЦАП (а) и входного АЦП(в)

Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка для исследований приведена на рис.4.14 и содержит:

- Генератор синусоидального входного напряжения;
- Генератор прямоугольного входного напряжения;
- Источник постоянного напряжения;
- Функциональный генератор;
- Микросхемы ADC и DAC (АЦП-ЦАП);
- Согласующий операционный усилитель;
- Светодиодные индикаторы;
- Осциллограф.

Окно настройки генератора входного напряжения приведено на рис. 4.17.

Порядок выполнения работы и методические указания

Исследование динамических погрешностей измерительного канала АЦП и ЦАП проводится на виртуальной установке (рис. 4.14).

4.5.1. Подключите ко входу АЦП генератор синусоидальных колебаний. Установите параметры синусоидального напряжения и напряжения прямоугольной формы функционального генератора в соответствии с примером на рис. 4.15. На экране осциллографа (рис. 4.15) приведены осциллограммы входного напряжения АЦП и входного напряжения ЦАП. Измерьте их амплитуду и период.

4.5.2. Установите режим работы осциллографа «В/А» и на экране осциллографа (рис. 4.16) наблюдайте характеристику погрешности, вызванную вариацией.

4.5.3. Изменяя частоту входного синусоидального сигнала, определите амплитудно-частотную характеристику канала АЦП-ЦАП, данные значений которых представьте в виде таблицы, а, 2-3 значения – в виде осциллограмм.

Одновременно определяйте характеристику погрешности (аналогично п.4.5.2.).

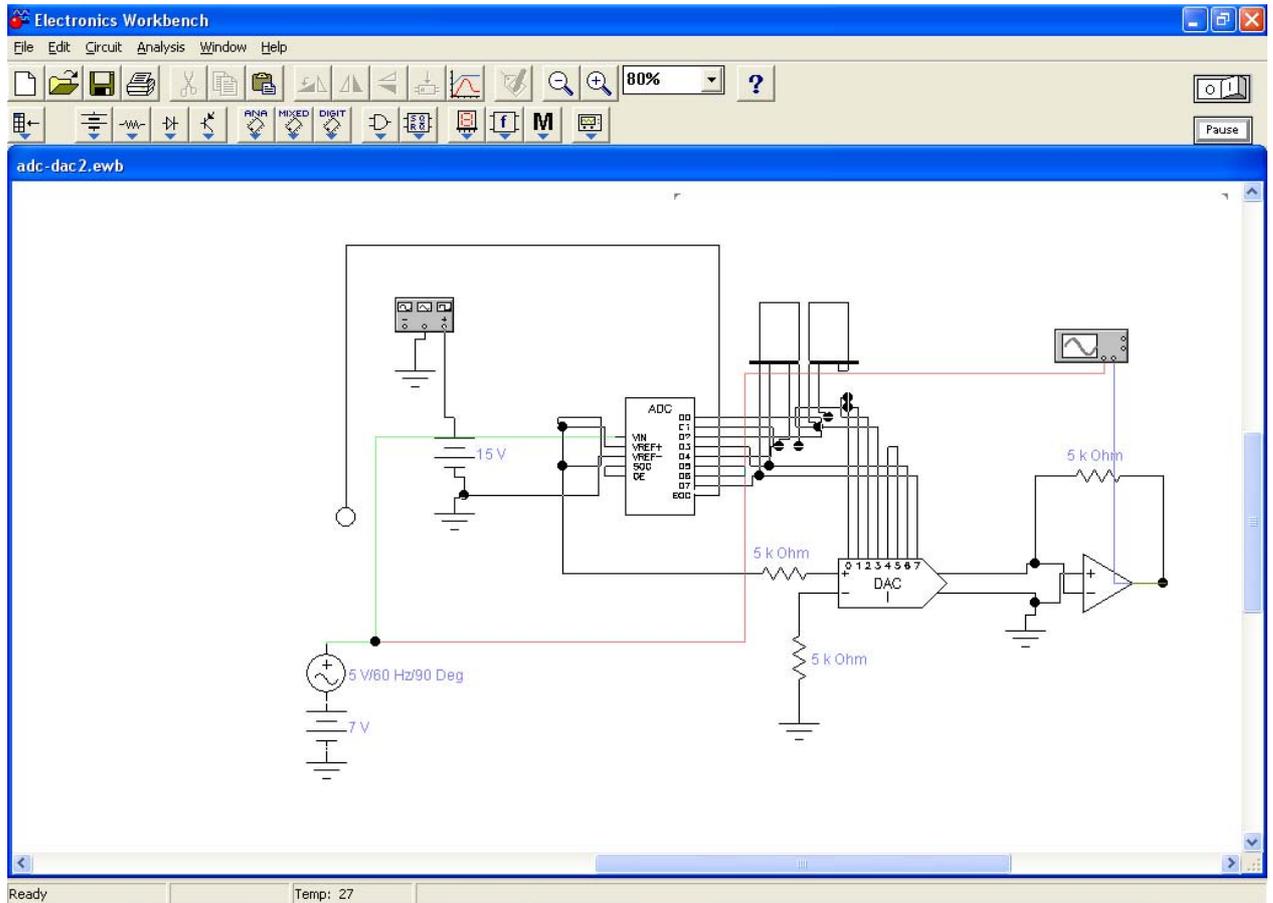


Рис. 4.14. Виртуальная лабораторная установка

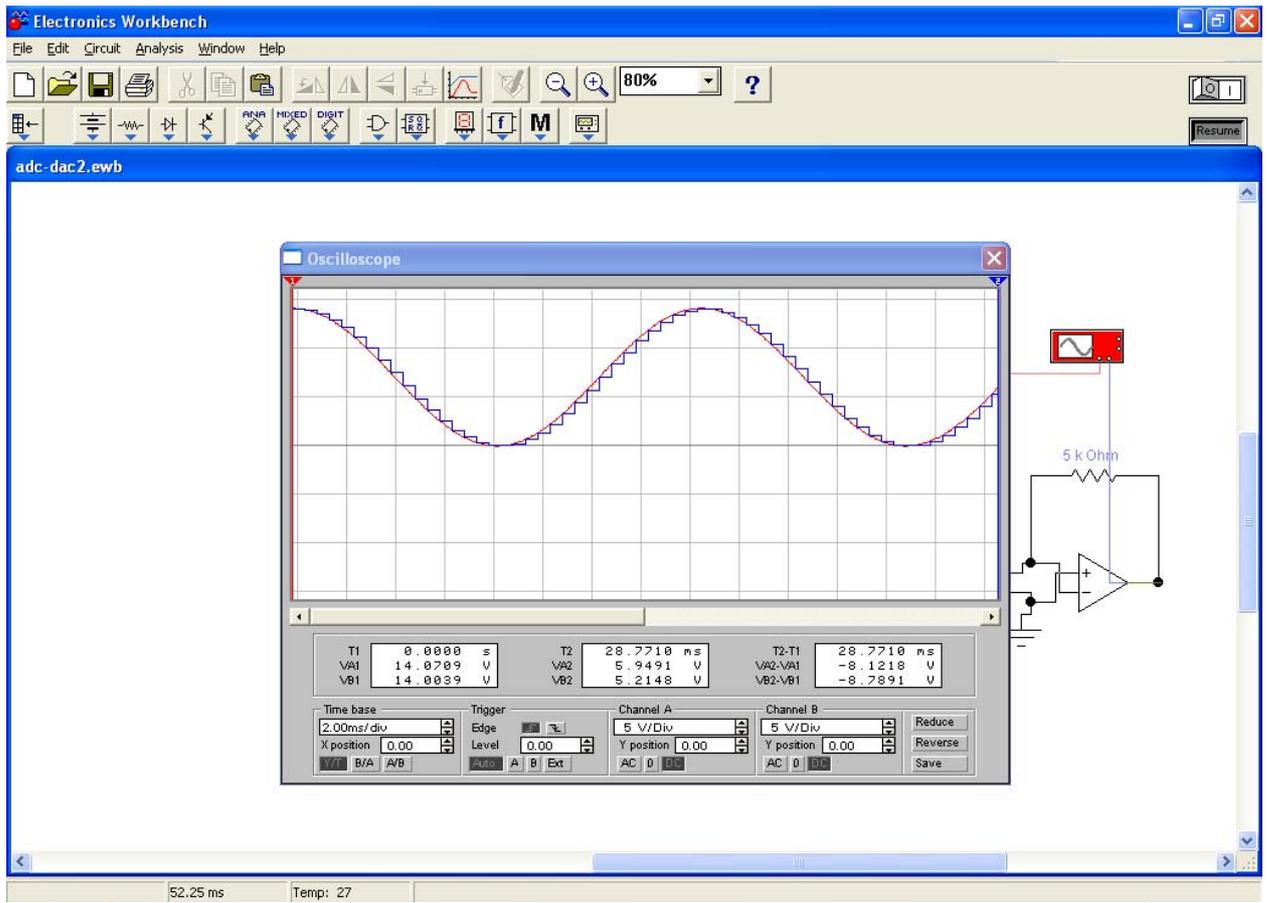


Рис. 4.15. Осциллограммы выходных сигналов канала АЦП-ЦАП

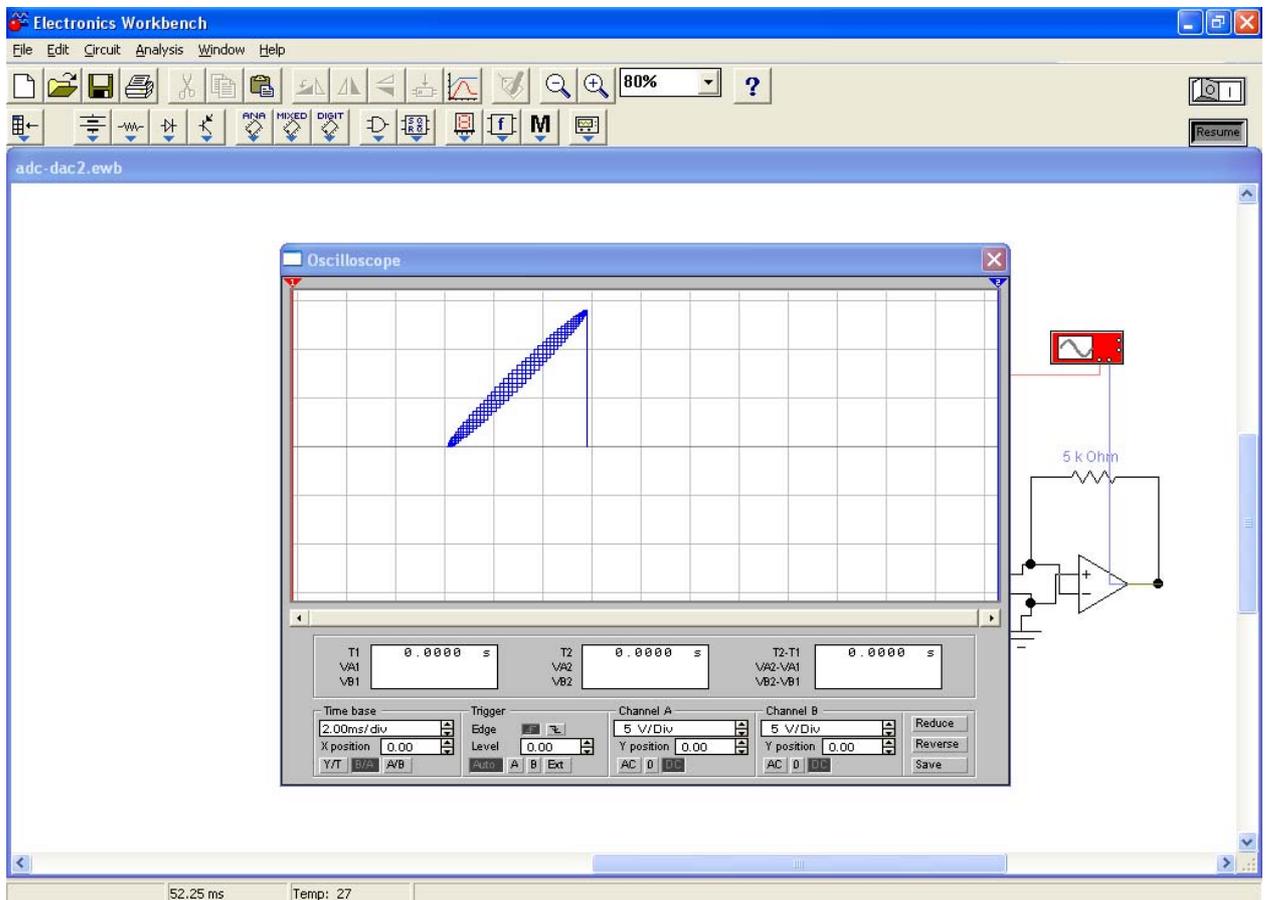


Рис. 4.16. Осциллограммы погрешности вариации канала АЦП-ЦАП

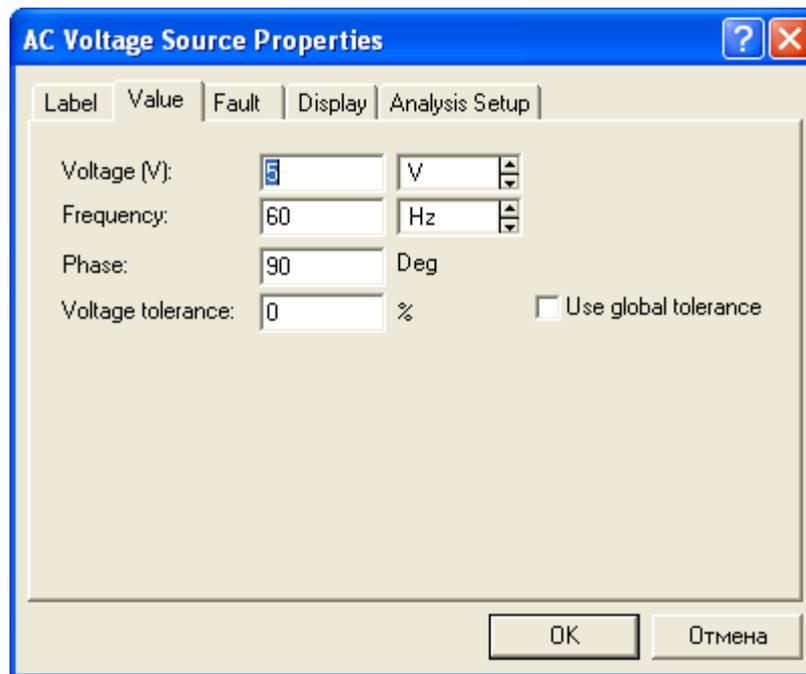


Рис. 4.17. Окно настройки генератора

4.5.4. Определите оптимальное соотношение частоты входного синусоидального напряжения и частоты прямоугольного напряжения квантования функционального генератора, обеспечивающие допустимую погрешность (п.4.5.3.).

4.5.5. Подключите ко входу АЦП генератор прямоугольного напряжения. По осциллографу определите время запаздывания выходного сигнала канала АЦП-ЦАП по отношению к входному.

4.5.6. Используя формулу (4.4.), произведите оценку дисперсии результирующей погрешности по экспериментальным данным.

Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с типовой формой и должен содержать:

1. Схемы измерений и их характеристику.
2. Таблицу параметров АЧХ канала АЦП-ЦАП.
3. Осциллограммы входного и выходного напряжений АЦП-ЦАП при синусоидальном и прямоугольном входных сигналах.
4. Осциллограммы погрешностей вариации при изменении входного синусоидального сигнала.
5. Оценку дисперсии результирующей погрешности.

Список сокращений

АСУП – автоматизированная система управления предприятия;

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

АУ – алгоритм управления;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;

БД – база данных;

БИС – большая интегральная схема;

ИИС – информационно-измерительная система;

ИК – измерительный канал;

ИП – измерительный преобразователь;

ИС – информационная система;

ИУС – информационно-управляющая система;

КД – конструкторская документация;

КИС – корпоративная информационная система;

ЛАЧХ – логарифмическая амплитудно-частотная характеристика;

ЛВС – локальная вычислительная сеть;

ЛФЧХ – логарифмическая фазо-частотная характеристика;

МВИ – методика выполнения измерений;

МК – микроконтроллер;

МО – метрологическое обеспечение;

МП – микропроцессор;

МХ – метрологические характеристики;

НТД – нормативно-техническая документация;

ОЕИ – обеспечение единства измерений;

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство;

ОС – обратная связь;

ОСРВ – операционная система реального времени;

ОУ – отчетное устройство;

СИ – средства измерения;

СРО – саморегулируемая организация;

СУ – система управления;

СУБД – система управления базами данных;

ПК – преобразователь кодов;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПП – первичный преобразователь;

ТЗ – техническое задание;

ТУ – технические условия;

УСО – устройство связи с объектом;

УУ – устройство управления;

ФЧХ – фазочастотная характеристика;

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;

ЦП – центральный процессор;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ЭВМ – электронная вычислительная машина.

Список источников*

1. Операционная система реального времени QNX Neutrino 6.3. Системная архитектура: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 336 с.
2. Практика работы с QNX / Алексеев Д., Ведревич Е., Волков А., Горошко Е. и др. – М.: Издательский Дом «КомБук», 2004. – 432 с.
3. Баранникова, И.В. Метрология, стандартизация, сертификация в АСУ / И.В. Баранникова. – М: Изд-во Московского государственного горного университета, 2004. – 91 с.
4. Гагарина, Л.Г. Основы метрологии, стандартизации и сертификации. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 96 с.
5. Хамханова, Д. Н. прикладная метрология: Учебное пособие. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. –160 с.

* кроме указанных источников при составлении настоящего курса лекций использовалась открытая информация из сети Интернет.