**Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Управление сложными техническими системами» (УСТС)**

1. Студент выполняет контрольную работу в соответствии с индивидуальным вариантом задания, зафиксированным у преподавателя.

2.В каждый вариант задания входит 6 видов задач. Виды задач нумеруются **А.хх, В.хх, С.уу, Д.уу, Еzz, F.zz.** В каждом виде задач десять задач**.** В каждом варианте задания имеются задачи всех видов **А,В,С,Д,Е,F.**

3Таблица с вариантами заданий приведена ниже.

4. По выполнению контрольной работы студентом составляется отчет, предъявляемый студентом на проверку преподавателю лично.

5. Содержание отчета:

Титульный лист стандартной формы.

**Номер варианта и номера** входящих в него задач.

По каждой задаче приводится:

5.1.Е**ё полное условие** и необходимые исходные данные ( можно копированием из перечня).

**5.2 Ответы на все поставленные** в задаче вопросы с приведением необходимых формул, правил и расчетов. При отсутствии правильного ответа хотя бы на один вопрос вся задача считается нерешенной.

Отчет выводится в формате А4.

6.Проверенные и принятые преподавателем отчеты остаются у преподавателя для сдачи в деканат. Не принятые преподавателем отчеты возвращаются для исправления. При повторном предъявлении листы с замечаниями преподавателя сохраняются и также предъявляются.

7, Контрольная считается выполненной при наличии правильных ответов на три задачи и ответов на остальные. Виды задач **С,Д,F** идут в зачет по лабораторным.

8.Студенты не сдавшие контрольные работы и не получившие зачет по лабораторным к **экзамену не допускаются**.

**Примеры решения задач с ответами на часть из них имеются в книге Мостового Я.А. «Лекции по управлению сложными техническими системами». Книга имеется в библиотеке ПГУТИ**

Задания на контрольную работу по курсу УСТС

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Варианты заданий** | **А** | **В** | **С** | **D** | **E** | **F** |
| **Вариант 3** | **3** | **3** | **3** | **3** | **3** | **3** |

**Задачи к контрольной работе тип А (**основные понятия и определения**)**

**А.3** В системах управления с ЦВМ в качестве устройства, перерабатывающего информацию, решение задач управления в ЦВМ повторяется с определенным периодом.

Определить от чего зависит период повторения решение задач управления в системах с ЦВМ.

**Задачи к контрольной работе тип В(**линейные и нелинейные дифференциальные уравнения, как математические модели структурных элементов систем управления**)**

**В.3** Записать, что надо изменить в данном нелинейном дифференциальном уравнении относительно переменной х, чтобы оно стало линейным 

**Задачи к контрольной работе тип С(**передаточные функции и их преобразования)

**C.3.** Записать передаточную функцию W(s) двух последовательно соединенных звеньев, имеющих передаточные функции B(s) и H(s). Здесь Y(S), X(S), Z(S) – изображение по Лапласу переменных Y,X,Z/

W(s) ==…? Y(S)  X(S) Z(S)

H(s)

B(s)

B(s)=  H(s)= 

**Задачи к контрольной работе тип Д (** определение характеристического уравнения, устойчивости системы, статической ошибки системы)

**Д.3** Передаточная функция системы управления имеет вид

W(s) ==  Здесь К1 > 0, К2 > 0,  > 0,τ > 0

-Записать дифференциальное уравнение, связывающее выходную и входную координаты Z(t) и Y(t)

-Найти и записать характеристическое уравнение.

-Найти корни характеристического уравнения.

-Дать суждение об устойчивости системы

**Задачи к контрольной работе тип Е (**Логика работы ЛВС 1553В,CAN**)**

**Е.3.** Определить для сети MILSTD 1553В минимальное время передачи в контроллер по его команде сообщения из 5 слов данных из одного оконечного устройства и затем сообщения из 3 слов данных из другого оконечного устройства. Привести расчетные формулы и результат.

При этом время передачи командного слова – 20мксек. Время передачи одного слова данных – 20мксек. Время передачи ответного слова(ОС) от оконечного устройства в контроллер – 20мксек.Пауза между окончанием передачи команды + данных и передачей ОС– 12мксек. Время в контроллере между окончанием приема ОС от первого сообщения и началом передачи командного слова на следующее ОУ – 50мксек.

**Задачи к контрольной работе тип F (**Численное интегрирование методом Эйлера уравнений системы управления)

**F3.** Поведение системы описывается дифференциальным уравнением



Необходимо получить решение данного уравнения методом Эйлера. Число шагов интегрирования n= 200 , шаг интегрированияt= 0,05 сек., значение квадрата собственной частоты колебаний = 9[1/сек2] ,значение относительного коэффициента демпфирования =0,7, значение постоянно действующего внешнего возмущения М=0,9[1/сек2].

Соотношения метода Эйлера необходимо реализовать либо в Mathcad, либо на любом другом языке программирования.

1.Привести представление данного уравнения в необходимой для решения методом Эйлера форме.

2.Привести график изменения по времени для полученного решения

**МОСТОВОЙ Я, А.**

**Управление сложными техническими системами**

**Оглавление**

**Лекция 1.Автоматическое и автоматизированное управление сложными техническими системами**

Система управления, объект управления.

Задачи управления

Сложные технические системы

Виды управления в СТС

Прямое управление (в разомкнутом контуре)

Управление с отрицательной обратной связью

Пример прямого управления и управления с ОС.

Возмущения. Управление по возмущению

Закон управления. Комбинированное управление.

**Лекция 2. Математические модели структурных элементов систем управления техническими системами.**

Математические модели для исследования поведения системы. Адекватность математических моделей.

Непрерывные и дискретные во времени математические модели, математические модели, основанные на дискретных событиях

Математические модели объектов управления мехатронных систем

Линейные системы, нелинейные системы, их линеаризация.

Линеаризация уравнения колебаний физического маятника.

Нелинейные модели исполнительных органов автоматических и автоматизированных систем

**Лекция 3. Качество процессов управления и методы его исследования. Устойчивость систем управления. Корни характеристического уравнения. Преобразование Лапласа и основные его свойства**

Качество процессов управления и методы его исследования

Устойчивость систем управления.

Характеристическое уравнение и его корни

Методы анализа устойчивости систем управления.

Преобразование Лапласа

Основные свойства преобразования Лапласа

**Лекция 4. Использование метода преобразования Лапласа для исследования линейных систем управления. Передаточная функция.** **Частотные методы исследования систем управления**

Передаточная функция

Получение передаточной функции системы по передаточным функциям входящих в неё звеньев

Передаточная функция замкнутой системы с отрицательной обратной связью

Характеристическое уравнение и анализ устойчивости замкнутой системы

Частотные методы исследования систем управления СТС

Математические модели СТС и запаздывания и упреждения при управлении

**Лекция 5. Управление в условиях неопределенности, Адаптивное управление и управление с обучением. Универсальная природа основных особенностей цифрового управления .**

Управление в условиях неопределенности.Случайные возмущения и параметры системы.

Адаптивное управление. Управление с обучением

Универсальная природа основных особенностей цифрового управления в автоматических и автоматизированных системах. Квантование по времени.

Квантование по уровню в цифровых СУ.

**Лекция 6. Встроенные в систему ЦВМ. Математические модели цифровых систем**

Преимущества и недостатки использования ЦВМ в контуре управления

Математическое описание цифровых систем. Решетчатые функции.

Экстраполятор нулевого порядка

Принципы декомпозиции систем управления СТС и их математических моделей

**Лекция 7.Пример СТС, управляемой от встроенной ЦВМ . Метод численного интегрирования уравнений управления СТС.**

Пример системы управления с ЦВМ в контуре управления. Уравнения объекта управления

Закон управления, учитывающий скорость изменения управляемой координаты

Дискретное описание цифрового автомата стабилизации ракеты

Численное интегрирование уравнений углового движения ракеты методом Эйлера

**Лекция 8 Исследование управления СТС с цифровым управляющим устройством.** **Точность управления**. **Случайные и систематические ошибки датчиков системы управления**

Влияние параметров автомата стабилизации и дискретности его работы на устойчивость углового движения ракеты

Точность управления. Три составляющие, определяющие точность управления

Случайные и систематические ошибки датчиков системы управления

Суммирование случайных ошибок и отклонений в линейных системах.

# Лекция 9. Локальные вычислительные сети – системообразующие структуры управления СТС.

Cети ЦВМ – системообразующая структура СТС

Схема процесса телекоммуникации и основные понятия сетевых технологий управления

Разделяемая среда передачи

Структура пакетов ЛВС управления СТС

Обнаружение ошибок при передаче данных. Циклический избыточный контроль

Топология локальных вычислительных сетей. Топология шина и безопасность сети

**Лекция 10. Требования к ЛВС управления СТС. Задержки передачи сообщения в ЛВС СТС с шинной топологией .**

Особенности ЛВС управления СТС

Использование теории массового обслуживания для определения времени ожидания освобождения шины ЛВС, как общего ресурса узлов сети

Задержка в обслуживании и её связь со средней загрузкой ЛВС передачами для простейшего и регулярного потока обменов информацией в системе

**Лекция №11**. **Проблема синхронизации передатчика и приемника в ЛВС и кодирование бит информации. Самосинхронизирующееся кодирование.**

# Примеры защищенных ЛВС управления для сложных технических систем

Кодирование бит информации данных. Код NRZ

Проблема синхронизации передатчика и приемника

Самосинхронизирующиеся кодирование. Код RZ. Манчестерский код.

# Защищенная ЛВС MILSTD 1553B (ГОСТ Р-5207-2003)

Физический уровень

Канальный уровень

Методы обеспечения надежности передачи

ЛВС управления CAN

Физический уровень

Канальный уровень и неразрушающий арбитраж

**Лекция 12. Реализация многорежимного управления СТС. Архитектура программного обеспечения встроенных вычислительных средств**

Функциональные задачи, решаемые СТС и необходимый состав подсистем

Иерархическое структурирование ПО - средство обеспечение многофункциональности

Временная диаграмма работы подсистем рассматриваемого примера СТС, при выполнении одной из его функциональных задач

Структура ПО СТС рассматриваемого примера.

**Лекция 13.Параллельные физические процессы управления СТС и многозадачность ПО управления СТС, как средство реализации сложности поведения СТС**

Параллельные физические процессы управления и **м**ногозадачность ПО управления

Процессы и потоки, контекст процесса. «Упрятывание» контекста при прерываниях

Обмен данными между процессами

Задачи синхронизации процессов

Качество ПО и технология его производства. Влияние человеческого фактора

Стандартизация характеристик качества ПО

Системный подход к разработке ПО и модели жизненонго цикла ПО

## Автономная и комплексная отладка ПО

## Моделирование работы систем с целью проведения комплексной отладки ПО

**Лекция 14. Модели внешних возмущающих факторов, воздействующих на аппаратуру СТС и выбор элементов для системы управления СТС. Искажение сообщений и помехи при передаче по ЛПИ ЛВС**

Искажение сообщений при передаче по ЛПИ

Полоса пропускания ЛПИ ЛВС и скорость передачи.

Помехи в электрических каналах передачи информации .Скрутка и экранирование кабеля ЛПИ

Классификация элементной базы по качеству изготовления и допустимым значениям ВВФ.

Схема выбора элементов для критичных СТС

Проблема импортной элементной базы и ПО при управлении СТС

**Лекция 15. Безопасность и безотказность управления СТС. Аварийная защита**

Основные понятия теории надежности

Экспериментальная база теории надежности

Меры безотказности Расчет надежности системы по надежности составляющих её элементов

Три пути повышения надежности СТС

Безопасность и безотказность

Стратегии безопасности. Три уровня реакции СТС на обнаруженную ошибку или отказ

Встроенный автоматический контроль работы СТС и ПО системной ЦВМ

Перечень нештатных ситуаций. Аварийная защита

## Лекция 16. Математическая модель СТС и её роль на различных этапах жизненного цикла СТС

### Имитационные математические модели - основное инструментальное средство для разработки СТС

Задачи математического моделирования на различных этапах жизненного цикла СТС

Принцип повторяемости результатов при моделировании.

Реальная аппаратура СТС в контуре моделирования

Современные технологии и средства для компьютерного моделирования СТС

**Лекция 1. Автоматическое и автоматизированное управление сложными техническими системами**

*Система управления, объект управления.*

Система управления – это система, состоящая из управляющего устройства (УУ) и объекта управления (ОУ). Понятия объект управления, цель управления, управляющие воздействия взаимосвязаны и не могут быть определены отдельно друг от друга.

Объект **управления (ОУ) - объект (или система объектов), для которого необходимо достичь желаемые цели управления через выдаваемые на него управляющие воздействия.**

ОУ могут быть как отдельные объекты, так и системы взаимосвязанных объектов – тогда мы говорим о распределенном объекте управления.

Цели управления – это значения координат или соотношение значений координат процессов, происходящих в ОУ, а так же их изменение во времени, которые надо получить в процессе управления для достижения желаемых результатов функционирования ОУ.

Например, целью управления системы автоматической посадки самолета является :

Получить в заданной точке, координаты которой известны( начало посадочной полосы) скорость полета не менее 250 км. /час и высоту над поверхностью земли в этой точке H=0.

Т.е. управление должно вестись сразу по нескольким координатам в заданном соотношении. В более простых случаях управление проводится по одной координате – управление температурой в холодильной камере.

**ОУ**

Вход

Выход

Управляемые координаты и их совокупности меняющиеся во времени

Управляющее

воздействие

Управляющее устройство – устройство, предназначенное для воздействия на ОУ для достижения цели управления.

*Задачи управления*

**Задачи, решаемые при проектировании и исследовании систем автоматического управления** различного назначения можно свести к следующим основным типам:

анализ, параметрическая оптимизация, синтез, адаптация.

**Анализ** состоит в определении отклика объекта управления при его выбранной структуре, фиксированных параметрах на любое физически возможное детерминированное или случайное внешнее воздействие. Анализ предусматривает расчет переходных состояний системы, как функций времени, и установившихся состояний при t  , как аналитическими методами, так и численными с помощью компьютера.

**Параметрическая оптимизация.** Состоит в определении таких параметров системы при её неизменной структуре, при которой одна или несколько характеристик имеют наилучшие (максимальные или минимальные )значения. Данная задача почти всегда сводится к поиску минимума функции цели, как разности между двумя функциями, одна из которых описывает требуемую характеристику, а другая – фактически полученную при выбранной комбинации параметров системы.

**Оптимизация.** Со словом оптимизация связана и другая проблема в теории автоматического управления – оптимальное управление, предусматривающее поиск наилучшего в определенном смысле способа управления динамическим процессом. Например, следует найти закон управления переводящий систему из одного заданного состояние в другое за минимальное время или с минимальным расходом энергии.

**Синтез.** Заключается в определении структуры системы, значений параметров, при которых она наилучшим образом соответствует выбранному критерию или выбранным критериям. Параметрическая оптимизация, сопровождаемая поиском подходящей структуры системы, практически определяет задачу синтеза системы управления.

**Адаптация.** Заключается в придании системе управления свойства рассчитывать и определять новые значения своих параметров или менять структуру при изменении условий работы или недостаточно полно определенных характеристик объектов управления.

Задача адаптации рассматривается и реализуется в процессе функционирования системы

Для решения всех этих задач важнейшим инструментом является численное математическое моделирование на компьютерах. Аналитические решения данных задач даже если они и получены требуют все равно компьютерных расчетов в более или менее сложных случаях.

*Определение понятия "компьютерная технология",информационные технологии,**коммуникационные технологии.*

В современных системах автоматизации и управления основным техническим средством обработки информации, выполнения научно-технических расчетов, вычисления задающих и управляющих воздействий является компьютер.

Между терминами "компьютерная технология" и "информационная технология" существует различие в том смысле, что обработка информации может осуществляться и без помощи компьютера. Однако в современных условиях, тем более в таких областях как автоматизация производственных процессов, управления системами, проектирование изделий различного назначения, выпуск документации и др. использование компьютеров находит самое широкое применение. В этой связи в оба термина используются, как синонимы.

В понятие "компьютерная технология" включаются также **коммуникационные технологии, которые обеспечивают передачу информации** по каналам связи (информационно-вычислительные сети), поскольку распределенная обработка информации, распределенный доступ к общим информационным ресурсам, которые также могут быть распределены, распределенное управление получили широкое

В системах компьютерного управления автоматизированными и автоматическими системами сравнительно легко вносятся новые стратегии функционирования поскольку можно легко изменять характер функционирования без переоснащения и перепроектирования всей системы, полностью изменив образ действий того же самого компьютера, заменив ему программное обеспечение. Именно эти возможности, наряду с возможностями обработки информации в системе по сложным алгоритмам предопределили бурный рост компьютерных технологий автоматизации и управления.

Следует также отметить роль компьютерного моделирования процессов, протекающих в динамических системах, на стадиях проектирования и эксплуатации, которое постепенно вытесняет классические методы исследований докомпьютерной эры Компьютерное моделирование буквально охватывает весь жизненный цикл системы.

*Сложные технические системы*

**Сложной технической системой мы будем называть систему, имеющую:**

-сложное устройство - сложную многокомпонентную структуру со множеством связей между структурными элементами,

-многорежимное использование структурных элементов в различных сочетаниях, при которых взаимодействие составных частей изменяется,

- сложное поведение, которое трудно предсказать, так как оно часто происходит под воздействием случайных возмущений и в условиях неопределенности и наличия неисправностей.

Сложные технические системы управляются от ЦВМ или совокупности ЦВМ, объединенных в вычислительную сеть.

С ложные технические системы способны устранять последствия внешних или внутренних случайных воздействий в том числе отказов составляющих её элементов

В соответствии с этим определением к СТС можно отнести сложные промышленные установки, медицинское оборудование и их системы управления, системы управления аэрокосмическими объектами, автомобилями и т.п. Сюда же можно отнести и сложные изделия бытовой техники: стиральные машины, холодильные установки и т.п., имеющие множество вариантов использования и управление которыми в настоящее время компьютеризировано.

*Виды управления.*

Классификацию управления и СУ можно проводить различным образом:

Во-первых, **имеются виды управления по концепции его применения:**

1. Координация – согласование временное и логическое процессов, протекающих в различных объектах, элементов сложного ОУ;

2. Управление – регулирование – поддержание значений координат ОУ в требуемых задаваемых пределах, отслеживание изменений приходящих извне или вычисляемых в системе требований к значениям координат;

3. Стабилизация – поддержание постоянных значений требуемых координат ОУ;

4. Терминальное управление – перевод ОУ в процессе управления из заданного начального состояния координат в заданное конечное состояние координат за заданное время.

*Прямое управление (в разомкнутом контуре)*

Схема разомкнутого управления(прямого управления, управления без ОС).

Определяет желаемое значение выхода

Случайные возмущения, разбросы характеристик

**УУ**

**ОУ**

Вход

Выход

В разомкнутой системе фактическое состояние ОУ (выходных координат ОУ) не известно и используется априорная или расчетная информация об состоянии ОУ. Измерения выходных координат не проводятся.

Прямое управление ведется с большими некомпенсированными ошибками от воздействий возмущений и неточности знания характеристик УУ и ОУ системы.

*Управление с отрицательной обратной связью*

Система в этом случае имеет отрицательную обратную связь (ОС) по состоянию ОУ (значений координат ОУ).При этом проводятся измерения действительного значения управляемых координат ОУ(всех или части), которые сравниваются с желаемыми значениями. Разница используется для управления координатами ОУ с целью устранения этой разницы.

Выход

Вход

Желаемое значение

выхода

Фактическое значение выхода

**УУ**

**ОУ**

**Измерения**

-

возмущения

возмущения

Принцип управления с обратной связью является фундаментальным принципом теории управления не только для технических систем.. По принципу управления с отрицательной обратной связью осуществляется регуляция в разнообразных живых организмах. Социальные и экономические системы также используют этот принцип.

**Управление, при котором текущее управляющее воздействие вырабатывается с учётом измеренного фактического состояния ОУ, обусловленного предыдущем управлением называется управлением с обратной связью. Управление с отрицательной ОС резко уменьшает влияние возмущений, повышает точность управления, однако, возникают проблемы с устойчивостью. Эти проблемы связаны с запаздыванием выдачи управляющих воздействий, что приводит к раскачиванию системы в некоторых случаях с недопустимо большой амплитудой колебаний.**

*Пример прямого управления и управления с отрицательной ОС.*

Управление скоростью вращения диска (компакт диска).

Требуется постоянная заданная скорость вращения диска. Решение этой задачи на первый взгляд возможно путем настройки скорости вращения электродвигателя подбором регулирующего сопротивлении в его цепи возбуждения на специальном стенде при производстве данного устройства. Однако, в процессе эксплуатации сохранить эту настройку не представляется возможным из-за разброса питающего напряжения сети, изменения сопротивления вращения по причине нарастающего со временем износа. Введение системы управления скорости вращения диска с обратной связью позволяет стабилизировать скорость вращения с очень незначительной ошибкой, несмотря на колебания питающего напряжения и изменения сопротивления вращения из-за износа.

**УУ**

Задание скорости

**УУ**

Задание скорости

Датчик скорости вращения

В теории управления принято системы управления представлять в виде структурных схем управления, где объект управления, датчики, управляющие устройства (исполнительные органы) изображаются в виде соответствующих прямоугольников и указываются связи между этими элементами.

**УУ**

Электродвигатель

Датчик

Скорости вращения

Желаемая скорость

ошибка

*Возмущения. Управление по возмущению*

**Воздействие на ОУ или любой другой элемент системы затрудняющее управление или уводящее ОУ от цели управления определяются как возмущения.**

Изменение характеристик системы, вследствие неточного изготовления или износа, силовые воздействия (ветер), разброс питающего напряжения, разброс температуры внешней среды, приводящие к изменению параметров работы объекта управления, датчиков, исполнительных органов - все это возмущения, действующие на систему**. Возмущения чаще всего являются случайными и их величину можно представлять статистическими характеристиками.**

Можно попробовать измерять действующие на систему возмущения, например, изменения напряжения в сети и учитывать их в разомкнутом управлении.

Однако, погрешности измерения возмущений, не полностью известный состав возмущений не позволят кардинальным образом повысить точность стабилизации в нашем примере скорости вращения диска.

Выходная переменная

**УУ**

**ОУ**

Измеритель возмущения

Желаемое значение выходных переменных

Измерив возмущения возможно в УУ рассчитать компенсирующие эти возмущения управляющие воздействия. Но здесь отсутствует ОС по выходной переменной и выходная переменная по прежнему не измеряется.

Компенсация случайных и систематических погрешностей измерения возмущений в УУ позволяют только частично повысить точность управления. Неполная компенсация множества действующих возмущений приводит по прежнему к большим ошибкам в управляемой координате.

*Закон управления. Комбинированное управление – управление по отклонению и возмущению*

На отдельных участках работы СУ управление по возмущению может приводить к отклонениям по заданным координатам от заданных значений, и как бы вступать в борьбу с управлением по отклонению управляемых координат по ОС, но, в общем, это помогает управлять эффективно. **Закон управления. Реализованная в управляющем устройстве математическая форма преобразования задающих воздействий, возмущений, воздействий обратных связей в управляющее воздействие на объект управления называется законом управления.**

Возмущения , действующие на систему, часто бывают случайными по величине и меняются во времени также случайным образом. Эти случайные возмущения касаются как внешних воздействий, так и параметров объекта управления, параметров аналоговых управляющих устройств. Случайные возмущения тем не менее должны быть ограничены и их характеристики важные для управления должны быть известны для того, чтобы правильно выбрать параметры регулятора и мощность исполнительных органов.В лучшем случае удается определить параметры распределений этих случайных возмущений на стадии проектирования. На этот случай в теории управления есть аппарат исследования подобных систем со случайными характеристиками.

Этот аппарат можно применять при определенных упрощениях и требует применения численных методов - проведения расчетов на компьютерах. При этом для реальных систем имеется универсальный метод исследования и таких систем. Это метод - статистическое компьютерное имитационное математическое моделирование.

**Вопросы для повторения**

*Система управления, объект управления.*

*Задачи управления*

*Сложные технические системы*

*Определение понятия "компьютерная технология",информационные технологии,**коммуникационные технологии*

*Виды управления.*

*Прямое управление (в разомкнутом контуре)*

*Управление с обратной связью*

*Пример прямого управления и управления с ОС.*

*Возмущения. Управление по возмущению*

*Комбинированное управление. Функциональная схема цифровой системы управления механической системой.*

**Лекция 2. Математические модели систем управления техническими системами.**

*Математические модели для исследования поведения системы. Адекватность математических моделей.*

Для того, что бы научится управлять СТС и изучить её свойства необходимо сначала получить и исследовать её математическую модель. Исторически первые автоматические устройства создавались без математического описания их поведения. Но инженеры все чаще стали сталкиваться с ситуацией, когда присоединенный к машине регулятор начинал раскачивать систему вместо того, чтобы её стабилизировать. Пришло понимание, что колебания возникают из-за влияния масс(инерции ) и упругих сил в процессе движения объекта управления и регулятора системы, т.е причины кроются в совместной динамике объекта управления и регулятора.

Динамические же инерционные процессы описываются дифференциальными уравнениями, т.е. уравнениями в которые входят не только управляемые координаты, но и производные от этих координат – скорости изменения координат, а также вторые производные- ускорения, скорость изменения ускорения – третья производная и т.п. Порядок дифференциального уравнения определяет сложность поведения системы и соответственно сложность её исследования и подбора структуры и параметров регулятора.

Поэтому необходимо описать в виде математических соотношений и дифференциальных уравнений все взаимосвязи между интересующими нас переменными, характеризующими поведение объекта управления, управляющих устройств и других компонентов СТС. Исследование данных математических моделей всегда предворяет реальное создание систем. Математическая модель всегда представляет собой приближенное в той или иной степени описание, определяющее **основные важные для данного исследования или использования** системы свойства и поведение. Математическая модель может не описывать некоторые аспекты поведения системы в пользу предоставления упрощенного описания остальных, интересующих нас в данном исследовании.

Есть понятие адекватности математической модели. Адекватная модель соответствует цели и задачам исследования по точности результатов и соответственно сложности описания системы.

С учетом сказанного тому, что именно исследуется, какие факты нам необходимо подтвердить, одной и той же СТС могут соответствовать различные модели.

*Непрерывные и дискретные во времени математические модели, математические модели, основанные на дискретных событиях*

Реальные технические системы, которые мы будем изучать, по своей природе являются динамическими. Для динамических систем можно назвать начальное состояние ,как совокупность некоторых величин, характеризующих ее функционирование и имеется закон, по которому можно прогнозировать изменения этих величин с течением времени.

Для описания поведения таких систем применяются дифференциальные уравнения. Действительно, поведение реальных систем с механическими, электрическими, тепловыми процессами характеризуются инерционностью.

Модели динамических систем можно классифицировать на:

1.непрерывные во времени математические модели, описываемые линейными или нелинейными дифференциальными уравнениями, выражающими баланс массы, энергии, сил и моментов.

2.дискретные во времени математические модели, описываемые разностными уравнениями линейными или не линейными.

Дискретным моделям соответствуют ситуации, когда информация в системе доступна для обработки только в определённые дискретные моменты времени. Эта ситуация характерна для цифровых систем управления, использующих в качестве устройства управления ЦВМ.

Определение периода дискретизации – важная задача возникающая при создании таких систем.

3.Модели систем, основанные на дискретных событиях. Многие системы можно рассматривать как системы массового обслуживания с очередями и моделировать динамику их поведения событиями прихода в очередь заявок на обслуживание и обслуживанию заявок из очереди. При этом время в такой системе моделирования подсчитывается как заданные случайные интервалы между событиями.

Все эти типы моделей, описывающих СУ, находятся под воздействием случайных или неопределённых возмущений и случайных или неопределённых отклонений параметров от их номинальных значений. Эти случайные возмущения и отклонения параметров являются либо следствием неполноты знаний, либо физических процессов – шумов, которые можно описать статистически.

При составлении математических моделей всех типов, существует два подхода:

1. физический подход, когда составляются уравнения модели на основе физических законов и отношений баланса энергии, сил, массы.

2. подход, основанный на проведении эксперимента, в процессе которого определяются (идентифицируются) параметры и характеристики соответствующих моделей.

На практике чаще всего применяются комбинации методов, когда составленные на базе физических соотношений уравнения уточняются (структура и параметры) на базе экспериментальных данных, полученных на базе опытов над физическими моделями или аналогичными системами.

*Математические модели объектов управления мехатронных систем*

Мехатронные системы – термин, введенный для широкого класса систем автоматического управления, в которых механические объекты управляются от компьютеров. Например, самолеты, автомобили, ракеты, роботы, станки, двигатели , турбины, антенны с наведением и т.п.

Краеугольным камнем для любой динамической модели механической системы является второй закон Ньютона. Для применения второго закона Ньютона необходимо задать некоторую систему координат, относительно которой будет определяться скорость, положение, направление сил, действующих на объект.

 , F- вектор сил , а - вектор ускорения

m – масса объекта.

Иногда второй закон Ньютона записывается в виде системы уравнений первого порядка относительно координат «состояния системы»:

 , 

Подобная запись принята стандартной для описания динамики системы в «переменных состояний системы», за которые мы принимаем координату перемещения **x и координату скорости V.** Математик сказал бы, что в последнем случае дифференциальное уравнение записано в форме Коши – в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка , разрешенных относительно первой производной

Закон Ньютона для вращающегося в плоскости относительно какой-то точки тела имеет вид



, где М – момент действующих сил относительно центра вращения,

ω – угловая скорость тела ,

J – момент инерции.

Если ввести понятие угла поворота тела , то запись состояний системы имеет вид

 , 

Подобными уравнениями описываются вращение или колебания самолетов , ракет, относительно их центров масс. Эта система уравнений описывает динамику вращения в переменных состояния ** и .**

*Линейные системы, нелинейные системы, их линеаризация.*

В природе нелинейные системы встречаются чаще, чем линейные. С другой стороны исследование линейных систем проще, чем нелинейных. Это происходит в основном за счет того, что для линейных систем справедливы два замечательных свойства:

Однородности и аддитивности.

Свойство однородности означает, что изменение в к раз величины входного воздействия (сигнала) приводит к аналогичному в к раз величины выходного сигнала.

Свойство аддитивности можно сформулировать так:

Для любых входных сигналов x1(n) и x2(n), которым соответствуют выходные сигналы y1(n) и y2(n), справедливо, что входному сигналу ( x1(n)+x2(n)) соответствует выходной сигнал (y1(n)+y2(n)).

Иногда это свойство излагается как принцип суперпозиции:

**Реакция линейных систем на сумму воздействий равна сумме реакций на каждое воздействие в отдельности.**

Для нелинейной системы это свойство не справедливо и приходится исследовать реакцию системы не по составляющим, на которые можно разложить сложные входные воздействия, а целиком на это сложное воздействие. Поскольку входных разнообразных воздействий может быть очень много , то объем исследований для нелинейных систем принципиально больше , чем для линейных.

Для нелинейных систем дифференциальных уравнений нет общих методов решения. Решены лишь нелинейные уравнения частного вида. Однако, численное решение любых нелинейных систем дифференциальных уравнений стало возможным после появления и широкого распространения компьютеров.

**Свойство аддитивности также говорит о том, что сигналы проходящие через линейную систему не оказывают влияния друг на друга. Наличие любой нелинейности нарушает это утверждение.**

Факт линейности или нелинейности того или иного элемента, системы может быть установлен либо экспериментально либо по уравнениям описывающим поведение системы.

Если все элементы, входящие в систему, линейны, то и система будет линейной. Если хотя бы один элемент системы представляет собой нелинейный элемент, то и вся система будет нелинейной.

Линейное дифференциальное уравнение n- го порядка, связывающее выход х со входом у в общем случае имеет вид:



Нелинейное дифференциальное уравнение, связывающее выход со входом



Нелинейные члены – любая, не равная 1 (α≠1) степень переменной хα., либо произведение управляемых, либо управляющих координат х, у , либо управляемая координата – аргумент нелинейной функции. Все это делает уравнение нелинейным.

Также, нелинейными являются уравнения .





Приведем ещё один пример нелинейных систем. Этому примеру соответствует электродвигатель, скорость вращения вала которого пропорциональна до определенных пределов входному управляющему сигналу. Однако, при больших входных сигналах электродвигатель либо сгорит, либо разрушится и поэтому входной сигнал надо ограничивать чему соответствует и ограничение скорости электродвигателя.

10

2

1 2 3

F

Объект управления

-

r(t)

e(t)

x(t)

В этой системе имеется нелинейность F типа «насыщения». Если на нелинейности F входной сигнал 1, то выходной – 5. Если входной сигнал 2, то выходной – 10. Если входной сигнал 3, то выходной сигнал по прежнему 10. Таким образом в нелинейных системах нарушается пропорциональность между входом и выходом.

Принцип суперпозиции при e(t)>2 не выполняется. При входном сигнале 1+2=3, выходной сигнал будет не 5+10=15 – что было бы, если бы система была линейной, а выходной сигнал будет по прежнему 10.

Аппарат исследования линейных систем разработан и достиг относительного совершенства. Аппарат исследования нелинейных систем только еще разрабатывается. Хотя численное решение системы нелинейных уравнений в том числе и дифференциальных всегда возможно на компьютере, но эти решения не обладают достаточной общностью.

*Линеаризация уравнения колебаний физического маятника.*

Из за относительной простоты получения решения всегда существовала и сейчас существует тенденция свести нелинейное уравнение к линейному операцией, так называемой, линеаризации. Это часто возможно сделать, если принять какое-то опорное состояние и записать уравнения системы в малых отклонениях – вариациях от этого опорного состояния. В предположении малости этих вариаций, поддерживаемых системой, можно получить линеаризованное уравнение системы. Рассмотрим колебания физического маятника.

m

θ

L



Это нелинейное уравнение относительно рассматриваемой координаты θ , которая является аргументом нелинейной функции sin. Однако, разложим функцию sin(θ) в степенной ряд.

+…..

При малых θ – члены θ3 и θ5  гораздо меньше, чем θ и ими можно пренебречь. При  с ошибкой меньше чем 2% можно считать sin(θ)= θ.

Итак уравнение колебаний маятника

 - это линейное (линеаризованное) уравнение, справедливое для .

*Нелинейные модели исполнительных органов автоматических и автоматизированных систем математическое моделирование нелинейных систем*

Существуют виды ИО, которые создают существенно нелинейные воздействия на ОУ. Это например электродвигатели не имеющие пропорционального управления по скорости вращения вала, а имеющие постоянную скорость, изменяемую скачком от нуля при подаче сигнала включить.

x

y

a a

Y

X

Связь между Х и Y не линейна, с зоной нечувствительности.





Такой же характеристикой обладают микроракетные двигатели системы ориентации космических аппаратов, электропривод постоянной скорости. Управление ими сводится к выдаче сигналов вкл. ,выкл с учетом операции выбора знака.

Если выключение такого релейного исполнительного органа производить при достижением ОУ заданного значения управляемой координаты ,например, 0, то поскольку в этот момент скорость ОУ не равна 0 , он проскочит заданное положение и начнется увеличение управляемой координаты , но с обратным знаком. Это приведет к включению релейного управления для его парирования также с обратным знаком . Релейный управляющий орган будет включен до тех пор пока управляемая координата не станет равной 0, но благодаря наличию скорости в этот момент ОУ опять проскочит заданное положение и т.п.

В таких нелинейных системах ОУ и управляемые координаты находятся в автоколебательном режиме – режиме незатухающих колебаний с более или менее постоянной амплитудой.

Общих методов анализа и синтеза нелинейных систем не существует. Имеются методы для анализа отдельных видов нелинейных систем, например, релейных, но ни один из них не является универсальным. Учитывая сказанное, в анализе и синтезе нелинейных систем определяющее значение приобретает имитационное математическое моделирование их работы. Рассмотренные нелинейности исполнительных органов легко описываются и программируются при помощи ряда логических условий.

**Вопросы для повторения**

*Математические модели для исследования поведения системы. Адекватность математических моделей.*

*Непрерывные и дискретные во времени математические модели, математические модели, основанные на дискретных событиях*

*Математические модели объектов управления мехатронных систем*

*Линейные системы, нелинейные системы, их линеаризация.*

*Линеаризация уравнения колебаний физического маятника.*

*Нелинейные модели исполнительных органов автоматических и автоматизированных систем*

*Запаздывания и упреждения при управлении ТС.*

**Лекция 3. Качество процессов управления и методы его исследования. Устойчивость систем управления. Корни характеристического уравнения. Преобразование Лапласа**

*Качество процессов управления***.** *Методы анализа качества процессов управления*

Рассмотрение решения линейных, а затем нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих СУ не самоцель. Это средство исследования поведения динамических систем, которые моделируются (описываются) этими уравнениями. Что волнует пользователей и стало быть разработчиков автоматических и автоматизированных систем управления, какие характеристики процессов управления важны для них?

1.Во всех случаях мы требуем, чтобы система управления предсказуемым образом реагировала на входные воздействия и начальные условия. Для этого система должна быть устойчивой Т.е. её отклонения от заданного состояния должны быть ограничены. Если это не так, то система не может использоваться практически - неработоспособна.

2.Поскольку никогда нельзя получить точную модель физической системы, то полученные при проектировании характеристики математической модели системы должны быть малочувствительными к малым изменениям параметров модели системы т.е. должна иметь место параметрическая устойчивость системы и её математической модели ( грубость системы). Следовательно чувствительность системы к изменению её параметров всегда представляет практический интерес.

3. Все реальные системы подвержены внешним воздействиям – возмущениям. Система должна им противостоять. Поэтому важную роль приобретает способность системы подавлять возмущения. В том числе и случайные, и плохо определенные. Обратная связь с этим неплохо справляется.

4. Для большинства систем важна точность работы, которая оценивается максимальным, средне интегральным или установившимся отклонением фазовых управляемых координат системы от заданных значений.

5.Для некоторых систем терминального управления основной характеристикой является время перехода из первоначального состояния в заданное конечное.

Теория управления – обширная наука, которая базируется на исследовании математических моделей, причем исторически так сложилось, что далеко не всегда это исследование производилось прямым решением систем уравнений, их описывающих, так как в докомпьютерную эру это представляло определенную трудность. Было изобретено множество методов оценки качества процессов управления и устойчивости по анализу коэффициентов уравнений, частотные методы, которые до сих пор изучаются в более полных курсах теории управления.

Появление и распространение цифровых вычислительных машин (ЦВМ) позволило перейти от косвенных и приближенных методов исследования к прямому численному решению (интегрированию ) уравнений моделей систем, что в ряде случаев проще и быстрее. Однако, эти методы дают частные решения т.е. не обладают необходимой общностью. Поэтому классические методы исследования устойчивости, например, сохранили свое значение для моделей невысокого порядка, для которых возможно получение аналитических решений.

Мы также избираем в нашем курсе кратчайший путь для объяснения важнейших особенностей цифровых систем управления СТС и определения качества процессов управления, путем численного математического моделирования, пользуясь доступностью в настоящее время методов численного интегрирования на ЦВМ системы дифференциальных уравнений, описывающих поведение системы. Базовый и простейший из них – метод Эйлера будет нами рассмотрен.

*Устойчивость систем управления.*

При анализе и синтезе реальных систем управления с отрицательной обратной связью первостепенное значение имеет анализ устойчивости. **Устойчивая система – это динамическая система, обладающая ограниченной реакцией на ограниченный входное воздействие. сигнал.** В неустойчивых системах отклонения управляемых координат от требуемых значений могут увеличиваться с течением времени неограниченно

Считается, что с практической точки зрения неустойчивая система не имеет смысла. Это не совсем так для системы с переменными по времени коэффициентами, когда кратковременная неустойчивость быстро проходит и система опять становится устойчивой, не успев «разболтаться», но тем не менее в общем случае неустойчивая система практического значения не имеет.

Многие реальные объекты неустойчивы в разомкнутом состоянии (без замыкания обратной связи системы управления). При этом они имеют не только большие ошибки при работе, а просто не могут функционировать (ракеты, некоторые самолеты). Для них автоматическая система управления обязательна. Правильным выбором управления неустойчивая система может быть сделана устойчивой.

**Другое определение. Устойчивая система при отклонении от положения равновесия возвращается в равновесное положение за ограниченное время.**

Имеются более строгие определения. Однако, для целей нашего анализа этих определений достаточно.

*Характеристическое уравнение и его корни.*

Рассмотрим линейное однородное (правая часть равна 0) дифференциальное уравнение порядка n с постоянными коэффициентами, описывающее поведение системы.



Вид уравнения показывает, что решение этого уравнения следует искать прежде всего среди функций, которые алгебраически подобны своим производным.

Этим свойством обладает показательная функция, поэтому будем искать решение в виде:

Так как





…

, то

подставив значения этих производных в исходное уравнение, имеем:



Так как  всегда, то имеем алгебраическое уравнение для исходного дифференциального уравнения, называемое **характеристическим уравнением**

****

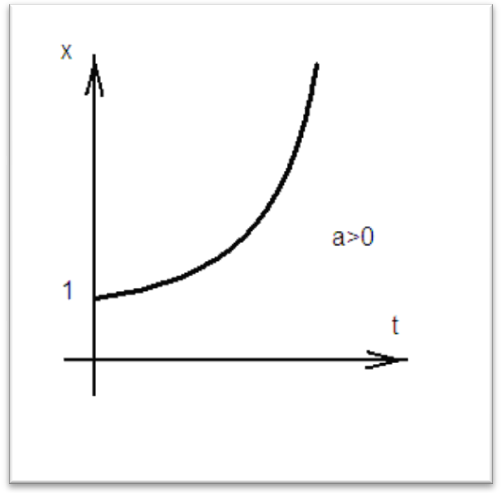
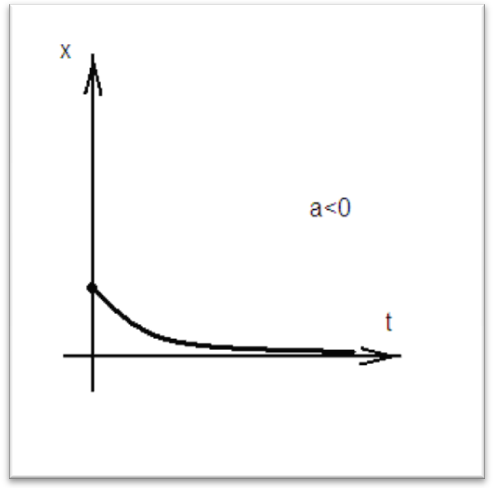
Это – алгебраическое уравнение степени n .Оно имеет n корней. Корни этого характеристического уравнения r1…rn позволяют записать общее решение исходного дифференциального уравнения в виде:



Здесь *c1, c2, c3, …, cn*- постоянные, определяемые из начальных условий,

*r1 ... rn*  - корни характеристического уравнения n-ой степени.

**Решение этого линейного дифференциального уравнения общего вида будет устойчивым (ограниченным) при , если корни характеристического уравнения будут иметь отрицательную действительную часть,** так как в общем случае корни характеристического

уравнения могут быть комплексными числами .

Значение мнимой части корня () определяет частоты гармонических составляющих решения.

Таким образом, для определения характера поведения линейной системы важным является найти характеристическое уравнение и определить его корни или, по крайней мере, определить знак действительной части корней.

Это сразу позволит сказать «правильная» ли это система уравнений и правильны ли значения ее параметров. Годится ли все это для практического использования.

*Методы анализа устойчивости систем управления.*

При анализе и синтезе реальных систем управления с обратной связью первостепенное значение имеет анализ устойчивости.

Сначала кратко рассмотрим устойчивость непрерывных линейных систем Рассмотрим плоскость S – плоскость корней характеристического уравнения. Необходимое и достаточное условие устойчивости замкнутой системы: все корни характеристического уравнения замкнутой системы имеют отрицательную действительную часть. Поэтому чтобы провести анализ устойчивости системы управления необходимо найти корни её характеристического уравнения.

Аналитически корни характеристического уравнения могут быть определены в общем случае для уравнения не выше третьей степени (в частных случаях выше). Приближенные численные методы для нахождения корней характеристического уравнения поэтому были изобретены давно. Но пока не было компьютеров при исполнении этой большой вычислительной работы возникали понятные трудности. Поэтому в докомпьютерную эпоху инженеры изобрели несколько способов определения знаков действительных частей корней характеристического уравнения без нахождения непосредственно корней, используя:

1.Анализ коэффициентов и групп коэффициентов характеристического уравнения (критерий Рауса - Гурвица)

2.Графоаналитические методы анализа в частотной области, позволяющие использовать и экспериментально полученные частотные характеристики отдельных звеньев системы в общем расчете ее устойчивости.

В настоящее время вычисление корней численными методами на ЦВМ не представляет особых трудностей.

Объем курса не позволяет подробно останавливаться на этих методах. К тому же более универсальным с учетом возможных нелинейностей математических моделей, переменности по времени их коэффициентов будет метод прямого решения уравнений математических моделей путем численного их интегрирования. Тем не менее , учитывая , что для рассматриваемых нами СТС удовлетворительное по точности описание поведения систем приводит к уравнению не выше третьего порядка(инерционный объект управления + инерционный регулятор**).**

Поэтому запишем критерий Гурвица для характеристического уравнения третьей степени.

**a0s3+ a1s2 + a2s + a3 = 0**

**Необходимым и достаточным условием устойчивости системы с характеристическим уравнением третьей степени**

**a0> 0, a1>0, a2>0, a3 >0,**

**а1а2 – а0а3>0**

*Преобразование Лапласа*

Метод преобразования Лапласа позволяет эффективно находить решения линейных дифференциальных уравнений. Однако, пожалуй не менее важное применение преобразования Лапласа связано с использованием понятия передаточная функция для преобразования структурных схем систем автоматического управления. Последовательность действий при применении преобразования Лапласа следующая:

- Декомпозиция системы на ряд «стандартных» звеньев определенной структуры и установления связей между ними,

-Получение дифференциальных уравнений для составляющих систему звеньев.

-Преобразование по Лапласу этих уравнений и получение передаточных функций звеньев.

-Получение передаточной функции замкнутой системы с ОС. Получение характеристического уравнения замкнутой системы.

В дальнейшем при необходимости можно отыскать обратное преобразование Лапласа по передаточной функции системы, т.е. найти решения во временной области, а также

исследовать при необходимости корни характеристического уравнения, описывающего поведение замкнутой системы.

**Преобразование Лапласа функции F(t).**

.

**Обратное преобразование Лапласа .**



Здесь s – комплексное число.

**Таким образом преобразование Лапласа преобразует функцию времени t в функцию комплексного числа s.** Практически в нашем курсе нет необходимости рассматривать эти сложные выражения, тем более вычислять эти интегралы для различных функций времени.

Эти выражения используются профессиональными математиками, которые вычислили преобразование Лапласа для наиболее часто встречающихся и употребляемых функций времени и поместили их в таблицы, которыми пользуются инженеры и научные работники.

В данных таблицах в одной строке приведены функции времени, подвергающиеся преобразованию Лапласа, называемые оригиналами и соответствующие им функции комплексного числа s , получившиеся в результате этого преобразования, называемые изображениями по Лапласу. Таким образом, вход в эту таблицу возможен с двух сторон как со стороны оригиналов, так и со стороны изображений.



По этим таблицам можно всегда найти соответствие функции времени и её преобразования по Лапласу и обратно.

Таблицами надо пользоваться так, как вы пользуетесь таблицами логарифмов. Благодаря этим таблицам упрощается решение, в частности, дифференциальных уравнений, описывающих динамические системы. Смысл использования преобразования Лапласа связан с тем , что дифференциальное уравнения временной области изображается алгебраическим выражением в области s.

|  |  |
| --- | --- |
| ***F(t) – функция времени - Оригинал*** | ***F(s)- функция комплексного числа s - изображение по Лапласу*** |
| t | 1 |
| t  1 |  |
| t |  |
| F(0) – начальное значение функции |  |
| При нулевых начальных значениях всех производных |  |
|  |  |
| t |  |
| t |  |
| t |  |
| t |  |

*Основные свойства преобразования Лапласа*

1.При умножении оригинала на константу изображение также умножается на эту константу

L{a F(t)} = a L{F(t)}= a F(s)

2. Изображение суммы оригиналов равно сумме их изображений

L{F1 (t) + F2 (t)} = L{ F1 (t)} + L{ F2(t)} = F1(s) + F2(s)

3. Запаздывания аргумента оригинала

L{F(t-a)} = e-as F(s)

4. Затухание оригинала

e-at F(t) = F(s + a)

5.Операция дифференцирования и интегрирования в области оригиналов преобразуется соответственно в умножение изображения на s или 1/s. Поэтому дифференциальные уравнения в области оригиналов преобразуются в алгебраические уравнения в области изображений.

**Лекция 4. Использование метода преобразования Лапласа для исследования линейных систем управления. Передаточная функция.** **Частотные методы исследования систем управления СТС**

*Схема использования преобразования Лапласа для решения линейных дифференциальных уравнений.*

Рассмотрим схему решения дифференциальных линейных уравнений с использованием преобразования Лапласа.

Исходная система дифференциальных уравнений. Приведение к табличному виду

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА

Система алгебраических уравнений

Алгебраические преобразования уравнений. Приведение результатов к табличному виду и поиск аналогов в таблице преобразований

ОБРАТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА

Решение во временной области

Рассмотрим простейший пример.



Данное уравнение первого порядка описывает «инерционное звено». Возьмем преобразование Лапласа от функции х(t) при нулевых начальных условиях





3Т

1(t)

t

По таблице преобразований обратное преобразование Лапласа от этой функции от s:



при T/t =3 

Изображение по Лапласу дифференциального уравнения n-го порядка с нулевыми начальными условиями

(sn + a1 sn-1` + a2 sn-2 +…+ an ) X(s) = Mb

**Мнемоническое правило при применении преобразования Лапласа : символ однократного дифференцирования в уравнении заменяется на s, а интегрирования на 1/s**

Хевисайд вводил свое операторное исчисление основываясь на этих мнемонических правилах, которые он открыл, опираясь на свою огромную практику. И только много лет спустя было дано объяснение этому исчислению на базе преобразования Лапласа.

*Передаточная функция. Получение передаточной функции системы по передаточным функциям входящих в неё звеньев*

Передаточная функция системы однозначно описывает динамическую связь между переменными – входом и выходом. **Передаточной функцией называется отношение изображения по Лапласу выходной переменной к изображению по Лапласу входной переменной**. Строго говоря, передаточная функция может быть определена только для линейных (линеаризованных) систем с постоянными коэффициентами.

Знаменатель передаточной функции – характеристическое уравнение.

Существует большой класс линеаризованных систем, для которых коэффициенты уравнений объекта управления медленно меняются во времени. Метод замороженных коэффициентов успешно применяется для таких систем.

Слово «медленно» означает, что в течение нескольких периодов собственных колебаний (3÷4) изменением коэффициентов можно пренебречь, полагая их постоянными. Это позволяет использовать понятие передаточной функции к таким системам, исследуя при этом поведение системы не только в один момент времени (t=0), а для ряда моментов времени, для каждого из которых записывается своя передаточная функция с «замороженными» параметрами, отличающимися от других «замороженных» параметров для других моментов времени.

Необходимое, но недостаточное условие устойчивости – все коэффициенты характеристического уравнения должны иметь один знак.

Для систем первого и второго порядка, необходимое и достаточное условие устойчивости – положительные коэффициенты.

Использование преобразования Лапласа позволяет рассматривать передаточные функции звеньев систем, упрощая преобразования при объединений различных звеньев системы в единую систему. В этом главная роль данного понятия. Имеется набор правил получения передаточной функции сложного звена по передаточным функциям составляющих его звеньев.

**Передаточная функция W(s) двух последовательно соединенных звеньев, имеющих передаточные функции B(s) и H(s) равна произведению этих передаточных функций:**



B(s)

H(s)

y

x

z

 (1)

 (2)

Действительно из (2):  ;

подставляя L x в (1)

; и 

Таким образом

B(s)

H(s

y

x

z

y

z

W(s) =B(s)\*H(s)

**Передаточная функция параллельного соединения звеньев равна сумме передаточных функций отдельных звеньев**

B(s)

H(s)



*Передаточная функция замкнутой системы с обратной связью*

Передаточная функция замкнутой системы с отрицательной обратной связью.

G(s)

H(s)

R(s)

вход

E(s)

Y(s)

Y(s)

выход

b(s)





Y(s)=E(s)\*G(s)









**Передаточная функция замкнутой системы с отрицательной обратной связью равна передаточной функции объекта управления, поделенной на произведение передаточных функций объекта управления и управляющего устройства( передаточной функцией разомкнутой системы), сложенного с единицей.**

Можно заметить, что система будет хорошо отслеживать входной сигнал R(s), когда ; это означает, что круговой коэффициент усиления системы  и 

Тогда 

Те же соображения позволяют определить как подавить возмущения, действующие на систему. Необходимо сделать передаточную функцию системы по возмущению , при этом  и .

*Характеристическое уравнение замкнутой системы*

Знаменатель передаточной функции замкнутой системы представляет собой характеристическое уравнение замкнутой системы. Именно знак действительной части корней этого уравнения определяет устойчивость замкнутой системы с регулятором

**1+H(s) G(s) =0**

**Для примера из лекции7 и лабораторных работ**

Линеаризованное описание отклонения ракеты по угловому положению от заданного, например, по каналу тангажа и описание поведения управляющего устройства, имеет вид:

 + Сυυ υ + Сυδ δ = Мв

τ + δ = а0 υ + а1 

Здесь υ- отклонения угла тангажа от заданного положения

δ - отклонение управляющего органа ( управляющего двигателя ракеты)

**Формально передаточная функция получается из дифференциального уравнения после замены в нем символов кратного дифференцирования на соответствующую степень s и деления образованного таким образом многочлена правой части уравнения на многочлен левой части уравнения. Дифференциальное уравнение получается из передаточной функции путем обратной замены степеней s на символы кратного дифференцирования.**

Передаточная функция автомата стабилизации- управляющего устройства.

Wyy(s) = (a0 +a1 s) Wио = (a0 +a1 s)/(τ s +1)

Передаточная функция объекта управления

W0 (s) = Cυδ /(s2 +Cυυ )

Передаточная функция замкнутой системы

Wзам.сист = (a0 +a1 s) Cυδ // ((a0 +a1 s ) Cυδ  + (s2 +Cυυ ) (τ s +1))

Тогда характеристическое уравнение

(s2 +Cυυ ) (τ s +1) + Cυδ (a0 +a1 s) = 0

τs3 + Cυυ τ s + s2 + Cυυ + Cυδ a0 + Cυδ a1 s =0



Это характеристическое уравнение третьего порядка. Необходимое, но недостаточное условие устойчивости – все коэффициенты характеристического уравнения должны иметь один знак. Так как  0, то

С

Сa0

Если ракета статически устойчива, то значение коэффициента Cυυ >0, если статически неусточива, то Cυυ <0. Представляя , имеем Т –постоянную времени дифференцирования . Для устойчивости надо, чтобы  T Что можно интерпретировать, как необходимость внесения в систему упреждения большего, чем имеющееся в ней запаздывание.

Достаточное условие устойчивости (критерий Гурвица) для характеристического уравнения третьего порядка приводит к соотношению

Cυυ τ + Cυδ a1 - τ(Cυυ + Cυδ a0 )≥ 0 , раскрывая скобки

Cυδ a1 - τ Cυδ a0 ≥ 0 или

T

Это условие совпадает с предыдущим. Таким образом, для статически неустойчивой ракеты значение коэффициента усиления автомата стабилизации должно быть больше значения

a0>(- Cυυ/ / Cυδ ) и

T

В противном случае угловое движение ракеты будет неустойчивым. Запас по реальному значению коэффициента усиления a0 должен быть примерно в два три раза больше граничного значения, определенного по приведенному выражению, что по опыту обеспечит приемлемое качество переходных процессов. Значения коэффициентов уравнения углового движения ракеты принимались постоянными и равными

Сυυ = - 0,6 1/сек2 (ракета статически неустойчива – центр давления ближе к носу ракеты, чем центр масс)

Сυδ = 1 1/сек2

Мв = 0,2 1/сек2

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение по времени управляемой координаты υ(t), полученное из передаточной функции

 + + (Cυυ τ + Cυδ a1 ) + (Cυυ + Cυδ a0 ) = М+τ

Собственный период колебаний ракеты с АС

T=2π/ωc ωс =( Cυυ + Cυδ a0 )

*Частотные методы исследования систем управления ТС*

До сих пор для исследования систем автоматического управления используются частотные методы, частотные амплитудно-фазовые характеристики систем. Появившиеся в докомпьютерную эру, когда непосредственное нахождение корней характеристического уравнения или интегрирование уравнений движения системы представляло техническую проблему, частотные методы сохранили своё значение до настоящего времени.

Если на вход системы подать периодическое входное воздействие

u= A sin ωt,

где А и ω- соответственно постоянная амплитуда и частота ,

то на выходе **устойчивой линейной** системы установится выходная функция

Y=B sin (ωt+β)

Отношение В/А зависит от частоты и, как функция частоты ω, называется амплитудной частотной характеристикой системы и зависит от динамических её свойств, определяемых уравнениями математической модели системы и значениями их параметров. То же самое можно сказать о сдвиге фазы колебаний Ф(ω), называемой фазовой частотной характеристикой. Относительно свойств амплитудно - частотной и фазо-частотной характеристик в теории управления были развиты методы, позволяющие сделать суждения об устойчивости системы и о качестве переходных процессов в ней по их виду. Например критерий устойчивости Найквиста позволяет сделать заключение, об устойчивости замкнутой системы по прохождению годографа частотной характеристики разомкнутой системы относительно точки1,0.

Вычисление амплитудно - частотной и фазо-частотной характеристик может быть проведено численно по передаточной функции системы W(s). Достаточно вместо комплексного числа s подставить в выражение для передаточной функции его чисто мнимое значение iω.

S=iω.

Модуль полученного после соответствующих преобразований комплексного числа, как функция ω, и будет амплитудно- частотной характеристико системы.

А(ω) = )

Фаза полученного комплексного числа – фазовая частотная характеристика

Φ(ω) = arctg (Q(ω) /D(ω) )

Здесь Q(ω), D(ω) – соответственно мнимая и действительные части комплексного числа W(iω).

Частотные характеристики могут быть получены также и экспериментальным образом непосредственно с реальных устройств системы управления путем подачи на их вход гармонических сигналов также с физических генераторов этих сигналов и записи реакции реальных устройств на эти сигналы. В этом случае можно даже обойтись без составления математической модели данных устройств при исследовании системы управления.

Это пожалуй и является основной причиной того, что достаточно древние частотные методы исследования систем до сих пор применяются, несмотря на то, что прямое численное решение уравнений математической модели позволяет быстро ответить на все возникающие вопросы в том числе по качеству процессов управления.

Мы в дальнейшем в нашем курсе частотные методы не рассматриваем, опираясь в основном на исследования корней характеристического уравнения и на численное интегрирование уравнений математической модели.

*Математические модели СТС и запаздывания и упреждения при управлении*

Динамику поведения системы управления технической системой можно описать любым из трех принятых в теории управления способов, которые мы рассмотрели:

1. в виде одного дифференциального либо разностного уравнения, связывающего вход системы с интересующим выходом системы,

2. в виде передаточной функции (для линейных систем), делающей то же самое, но в несколько более наглядном виде,

3. в виде системы дифференциальных либо разностных уравнений первого порядка относительно переменных состояния.

4. В виде частотных характеристик системы.

Переход между этими описаниями взаимно однозначный. Каждое их них обладает удобствами для определенных целей. Нами первоначально рассматривалось базовое описание динамики системы дифференциальным уравнением.

В первых двух видах представления соответственно левая часть ДУ и знаменатель передаточной функции определяют запаздывание вследствие инерционности той или иной физической природы, приводящей в некоторых случаях к колебательному поведению системы, а в некоторых случаях и к потере ею устойчивости. Правая часть дифференциального уравнения и числитель передаточной функции наоборот вносят «опережение» в динамику, компенсирующее в той или иной мере «запаздывание», определяемое соответственно левой частью дифференциального уравнения и знаменателя передаточной функции.

**Лекция 5. Управление в условиях неопределенности, Адаптивное управление и управление с обучением. Универсальная природа основных особенностей цифрового управления .**

*Управление в условиях неопределенности. Случайные возмущения и параметры системы.*

В некоторых задачах управления вопрос управления ставится так, что модель объекта управления и действующих возмущений не определена с необходимой точностью на стадии проектирования. Иногда параметры объекта управления или регулятора являются или принимаются случайными и случайным образом меняются в некотором диапазоне. Возможен учет этих случайных разбросов параметров и возмущений, принимая их значения предельными. При этом при таком подходе возможны ситуации, когда невозможно создать регулятор, обеспечивающий приемлемое качество управления во всем диапазоне разбросов параметров объекта управления.

Пусть имеется ряд действующих на объект управления возмущений. Эти возмущения являются следствием ряда независимых и случайных причин: конструктивных разбросов, ошибок изготовления, разбросов температуры, разбросов питающего напряжения и т.п. Пусть эти возмущения имеют значения, не превышающие с большой вероятностью величину εi . Учитывая случайный и независимый характер этих возмущений суммирование их нужно проводить по правилам суммирования случайных чисел, которые нам даёт теория вероятностей.

Математическое ожидание суммы независимых случайных возмущений равно сумме их математических ожиданий.

Дисперсия суммы независимых случайных возмущений ошибок равна сумме их дисперсий. Поэтому .Тогда среднеквадратичное отклонение суммы случайных возмущений от их математического ожидакния 

Предельное отклонение или предельная случайная ошибка относительно математического ожидания возмущения с большой вероятностью εпред=3σ. (Для нормального закона с вероятностью 0,997).

 или εпред = < 

*Адаптивное управление.*

Другой подход к управлению, обеспечивающий достижение необходимых характеристик качества управление такими техническими системами, опирается на методы адаптивного управления.

**Адаптивное управление это управление, при котором управляющие воздействия вырабатываются при заранее неизвестных или изменяющихся в процессе эксплуатации свойствах системы управления. Как правило, адаптация достигается посредством формирования в явном или неявном виде математической модели процессов системы управления ( в управляющем компьютере) при её работе.** Отметим, что на формирование этой модели требуется какое - то время.

Адаптивное управление меняет параметры регулятора или структуру регулятора в зависимости от изменения параметров объекта управления или возмущений, действующих на объект управления и на структурные элементы управляющих устройств. По характеру изменений в управляющем устройстве адаптивные системы делятся на самонастраивающиеся, изменяющие параметры регулятора, и на самоорганизующиеся, изменяющие структуру регулятора.

Адаптивные системы с эталонной моделью содержат в своем составе ( в ПО управляющей ЦВМ) математическую модель системы, обладающую требуемым качеством реакций на управляющие и возмущающие воздействия. Адаптивные модели с идентификатором проводят сначала идентификацию параметров объекта управления, а затем определяют настройки регулятора и их подстройку таким образом , чтобы реакция системы на входные воздействия соответствовала бы реакции системы с эталонной моделью. Все это производится в управляющей ЦВМ соответствующим ПО.

Для прикладных задач, связанных с управлением технологическими процессами в общем случае необходимо построение математической модели процесса. Это позволяет подобрать по данной модели параметры регулятора. Однако, часто в таких случаях построение строгой и формальной математической модели затруднительно, так как идентификация параметров таких чаще всего нелинейных моделей, меняющихся в широком диапазоне, требует большого времени, сложна и не может быть проведена заранее - при проектировании системы.

Применение «нечеткого управления» в этих случаях позволяет обойти эти трудности. Достаточно сформулировать правила поведения регулятора в форме нечетких суждений. Нечеткие регуляторы применяются также в случаях когда управление требует участия эксперта, который на основании своего опыта достаточно хорошо управляет подобными сложными объектами, руководствуясь показаниями приборов и некоторыми эвристическими правилами, которые не полностью формализованы и могут быть отнесены к нечетким.

Для управления в ситуациях подобной неопределенности также используются нейронные сети, а также генетические алгоритмы. Это все названия соответствующих компьютерных технологий.

Длительность обучения нейронной сети это основной недостаток данной компьютерной технологии. Другой недостаток – невозможность предсказать ошибки управления при входных воздействиях, на которых система не обучалась, а такие ситуации в реальных системах вполне возможны. Не исследована робастность подобных систем.

Генетические алгоритмы основаны на принципах естественного отбора. Недостаток тот же самый - большое время поиска оптимальных настроек регулятора, часто превышающее время самого процесса управления. Это не позволяет широко использовать эти компьютерные технологии в системах реального времени.

*Универсальная природа основных особенностей цифрового управления в автоматических и автоматизированных системах. Квантование по времени.*

После ввода информации с чувствительных элементов (ЧЭ) в ЦВМ, она производит ее обработку, на которую уходит какое-то время. После чего на исполнительный орган (ИО) выдаются сигналы управления, которые должны привести объект управления в заданное положение. Пока ЦВМ обрабатывает информацию другая порция информации в нее не вводится. И с этой точки зрения состояние ОУ в ЦВМ не наблюдаемо.

1

3

**t**1

**t3**

t

T

ввод

обработкака

выдача

Ненаблюдаема

неуправляема науправляематся

Рассмотрим на рисунке эти три фазы управления от ЦВМ. За время фазы ненаблюдаемости и неуправляемости фазовые координаты объекта управления меняются под действием возмущений и начальных условий на момент начала неуправляемости. Поэтому выдаваемое в конце третьей фазы **управляющее воздействие рассчитано по устаревшей информации и уже не соответствует состоянию объекта управления на момент его выдачи t3, а соответствует состоянию на момент t1.**

Поэтому выработанное управляющее воздействие не приведет объект управления в желаемое состояние. Поэтому цикл управления надо повторить, но описанная картина повторится. И так до бесконечности пока система работает. Поэтому в цифровых системах управления циклы управления повторяются, т.е. ЦВМ решает набор задач управления с определенным периодом в течение всего времени работы системы.

Это - универсальная особенность работы цифровых автоматизированных и автоматических систем любого назначения. Например, она прослеживается и в системе управления самолетом от БЦВМ и в системе управления кадрами предприятия, когда сводку о наличном составе кадров необходимо готовить по крайней мере раз в день для расчета бухгалтерией зарплаты.

С каким периодом надо повторять решение задач управления? **Период повторения решения зависит от временных характеристик действующих возмущений и динамики системы при их отработке. Т.е. не наблюдаемые в течении периода дискретизации изменения управляемых координат должны быть достаточно малы. Чем меньше период повторения решения задачи управления, тем меньше негативный эффект дискретности управления, связанный с внесением запаздывания.** Для нас важно то, что в период повторения решения задачи входит не только время её распределенного решения в управляющих компьютерах сети, но и время передачи обработанной в компьютерах информации между ними. Это время ограничивается периодом решения и должно быть небольшим т.е. скорость передачи информации по сети должна быть высокой.Имеющиеся на нашей диаграмме окна в реальных системах не уничтожаются, а наоборот расширяются для многозадачной работы.

*Квантование по уровню в цифровых СУ.*

Второй эффект квантования связан с тем, что представление данных в компьютере происходит в ограниченной разрядной сетке (16, 32, 64 разряда).

Чем выше разрядность компьютера, тем точнее представлены данные. Однако, доступная разрядность данных определяется уровнем развития микроэлектроники.

Этот эффект начинается с АЦП, который имея ограниченное число разрядов преобразует аналоговый сигнал с погрешностью в цену половины младшего разряда. Далее идут интересные факты уже при машинном счете.

**Имеет место свойство цифровых вычислительных машин (ЦВМ) – округление арифметических операций, так как результат, например умножения, двух 32-разрядных чисел занимает 64 разряда.**

Арифметическое устройство 32-разрядной машины позволяет разместить эти 64 разряда в сумматоре, но далее его надо переписать в память или регистр, а они 32-разрядные. Поэтому, результат при пересылке в память или регистры ЦВМ округляется.

Младшие разряды отбрасываются вплоть до 32 разрядов. При этом, если старший из отбрасываемых разрядов 1, то в младший оставшийся добавляют 1; если 0, то ничего не добавляется. Т.е. возникает погрешность с математическим округлением младшего разряда на каждой операции. Каждая последующая операция уже над полученными неточными числами увеличивают эту погрешность.

В длинной цепочке последовательных операций (формульный счет) эта погрешность постепенно растет.

Недостоверные разряды

результата

Допустимое число недостоверных разрядов

Эта погрешность захватывает все большее и большее число младших разрядов результата. Это может продолжаться до тех пор, пока ошибка вычисления конечного результата превышает допустимый по точности решения задачи уровень.

Выход из данной ситуации – использовать ЦВМ с большей длиной разрядной сетки либо использовать имеющийся во многих архитектурах ЦВМ операции с двойной длинной операндов и результатов.

В последнем случае эти операции выполняются на программно-аппаратном уровне, и потому очень сильно, на порядок и более, снижают быстродействие ЦВМ, но зато повышается точность представления результатов. Как говорят, точность разменивается на время. В программировании это можно сделать всегда.

Надо отметить, что эффект нехватки точности из-за разрядной сетки в цифровых системах управления (САУ) характерен для ограниченного числа вычислительных задач с длительным формульным счетом.

Для большинства задач управления этот эффект мало заметен и маскируется точностью АЦП при вводе данных с аппаратуры и частым их обновлением.

Тем не менее, использование ЦВМ с максимально доступным числом разрядов данных уменьшает все проблемы точности вычислений. Именно поэтому как только позволяет технология микроэлектроники, так формат данных удваивается. При относительно малых дискретности работы управляющей ЦВМ эффект квантования по времени сводится в первом приближении к внесению в контур управления чистого запаздывания, равного половине периода квантования. При этом нелинейными эффектами, связанными с квантованием по уровню обычно пренебрегают из-за их малости.

**Вопросы для повторения**

*Управление в условиях неопределенности, адаптивное управление, управление с обучением*

*Универсальная природа основных особенностей цифрового управления в автоматических и автоматизированных системах. Квантование по времени.*

*Квантование по уровню в цифровых СУ.*

**Лекция 6. Встроенные в систему ЦВМ. Математические модели цифровых систем**

*Преимущества и недостатки использования ЦВМ в контуре управления.*

Достижению высокого качества управления способствует использование компьютера в контуре управления как основного звена системы управления ,обрабатывающего информацию с датчиков и вырабатывающего команды на исполнительные органы.

Встроенные в системы компьютеры, управляющие физическими процессами функционирования, решают задачи, отличные от задач «классической компьютерной обработки» информации. Основное отличие состоит в том, что управляющий компьютер должен работать со скоростью, соответствующей скорости управляемого процесса, динамика которого может быть весьма быстрой. Другая особенность компьютерных технологий управления процессами заключается в том, что часто ход исполнения ПО встроенной ЦВМ нельзя определить заранее из за необходимости реагировать на внешние события. Внешние сигналы могут прерывать и изменять последовательность исполнения программ ПО. Третья особенность связана с необходимостью обеспечения надежности и безопасности управления. Поэтому функции аварийной защиты обязательно поддерживаются ПО таких компьютеров.

Работа ПО встроенных систем совместно с их оборудованием осложняется тем, что подчас возникшую ошибочную ситуацию трудно воспроизвести даже при отладке, поскольку каждый запуск системы сопровождается разными временными задержками, а от них зависит последовательность работы программных процессов, наложения прерываний на различные участки процессов и т.п.

В рассматриваемых сложных системах управления с обратной связью функции управляющего устройства выполняет ЦВМ. Использование ЦВМ сулит большие преимущества в использовании сложных и эффективных алгоритмов управления. Однако за эти преимущества приходится платить некоторыми неблагоприятными эффектами.

Главные преимущества ЦВМ в контуре управления СТС следующие:

-имеется возможность реализации сложных законов управления, обеспечивающих высокую эффективность управления и достижения сложных целей управления, проведения алгоритмического контроля,

-ЦВМ или сети ЦВМ являются системообразующим элементом системы и не только с концептуальной точки зрения, но и являются аппаратным ядром системы, определяя унифицированные электромеханические интерфейсы с аппаратурой системы, доступ к среде передачи информации и т.п.

- цифровые устройства не дают разбросов выхода от температуры ,качания напряжения ,в отличие от аналоговых устройств,

-простота модернизации системы путем модернизации ПО ЦВМ для перестройки законов управления.

Поскольку ввод информации в компьютер, а так же вывод информации из него может принципиально осуществляться только в дискретные моменты времени, а не непрерывно (ЦВМ – дискретное устройство), то необходимо разработать также специальный метод математического описания и анализа качества работы цифровых систем управления.

Негативная сторона цифрового управления связана с двумя эффектами: квантование по уровню и квантование по времени

Аналоговый сигнал

ОУ

АЦП

датчики

цифровой сигнал

ЦВМ

ЦАП

аналоговый сигнал

Исполнительные органыустройство

Входной сигнал

Непрерывный сигнал

Выходной сигнал

Рассмотрим мехатронную цифровую систему управления с обратной связью, в которой функции управляющего устройства выполняет ЦВМ.

Цифровая система оперирует данными, получаемыми из непрерывного сигнала непрерывных физических устройств в равноотстоящие моменты времени, как правило, через устройство, называемое аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). В результате получается временная последовательность данных, называемых квантованными по времени и уровню сигналами или дискретным сигналом. Аналоговые (непрерывные) устройства – исполнительные органы не воспринимают результаты, полученные в ЦВМ в виде потока бит. Поэтому результаты решения задач управления в ЦВМ преобразуются в аналоговую форму цифро-аналоговым преобразователем(ЦАП).

*Интервал дискретизации обрабатываемых данных и эффект транспонирования частот*

Цифровая система оперирует данными, получаемыми из непрерывного сигнала непрерывных физических устройств в равноотстоящие моменты времени, как правило, через устройство, называемое аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). В результате получается временная последовательность данных, называемых квантованными по времени и уровню сигналами или дискретным сигналом. Аналоговые (непрерывные) устройства – исполнительные органы не воспринимают результаты, полученные в ЦВМ в виде потока бит. Поэтому результаты решения задач управления в ЦВМ преобразуются в аналоговую форму цифро-аналоговым преобразователем(ЦАП).

Интервал дискретизации h должен быть достаточно мал, чтобы выходной сигнал с приемлемой точностью описывал изменения непрерывного входа. Поскольку после съема (выборки) и введения значения обрабатываемой переменной в ЦВМ о дальнейших их значениях ничего не известно до следующей выборки, период дискретизации должен быть настолько коротким, чтобы значение обрабатываемой перемененной не успело значительно измениться. Другими словами частота выборки должна быть достаточной для последующего восстановления непрерывного значения из дискретного. Нижний предел частоты выборки связан с динамикой процесса т.е. насколько быстро изменяются физические значения обрабатываемой переменной во времени.

Теоретически частота дискретизации должна более чем в два раза превышать частоту наибольшей периодической составляющей рассматриваемого сигнала. В этом случае возможно восстановление хотя бы периода изменения переменной. Выбор интервала дискретизации проиллюстрирован ниже на примере.

Для простоты рассмотрен чисто синусоидальный сигнал (переменная), помятуя, что каждый сигнал можно разложить на совокупность гармонических сигналов с помощью преобразования Фурье. Рассмотрим непрерывный синусоидальный сигнал(переменную)с частотой f. Этот сигнал дискретизируется с частотой fs . Если выборка делается 6 раз за период изменения исходного непрерывного сигнала, то гладкая кривая проведенная через эти точки, близка к оригиналу и наблюдаемая частота f0 выходного сигнала не отличается от исходной f.

Если делать выборку только три раза за период, то результирующая кривая менее точно может представлять входной сигнал, хотя наблюдаемая частота f0 сохраняется, равной f.

Если исходный сигнал дискретизируется таким образом, что делается 5 выборок за 4 периода, то через полученные дискретные значения также можно провести плавную непрерывную кривую (синусоидальную), но наблюдаемая частота её f0 будет равна f/ /4.

Наблюдаемая ложная частота f0 в этом случае есть разница между частотой выборки fs и и истинной частотой f исходного сигнала

f0 = fs – f

Данная особенность цифровых систем в случаях, когда частота выборки слишком мала по отношению к частотным составляющим исходного сигнала получила название транспонирования частот.

Если выборка происходит один раз за период исходного сигнала, то очевидно, чтот исходный сигнал выбирается всегда в одной и той же фазе и для чисто периодического сигнала будет получаться одно и то же его значение. Другими словами наблюдаемая частота f0 становится нулевой (сигнал постоянен) и, если попытаться восстановить непрерывный сигнал по таким дискретным наблюдениям, то восстановленный сигнал будет постоянен. Очевидно, что для управления рассмотренная ситуация неприемлема, так как система управления «не видит» поведения объекта управления на данной частоте.

Эффект транспонирования высокочастотной части спектра сигнала на низкочастотную особенно неприятен и опасен при возникновении на входе в системную ЦВМ высокочастотных помех с заранее неизвестными характеристиками . В этом случае транспонирование может произойти в ту часть спектра, которая характеризует управляемое движение объекта управления, где фильтрация помехи с помощью цифровых фильтров станет невозможной.

*Математическое описание цифровых систем. Решетчатые функции.*

Поскольку ввод информации в компьютер, а так же вывод информации из него может принципиально осуществляться только в дискретные моменты времени, а не непрерывно(ЦВМ – дискретное устройство), то необходимо разработать также специальный метод математического описания и анализа качества работы цифровых систем управления.

Описанная работа цифровых систем формализуется в структурную схему квантования по времени, который преобразует непрерывный сигнал r(t) в решетчатый сигнал r(kT).

r(0)

r(t)

r(Т)

r(2Т)

r(3Т))

r(4Т))

3Т

4Т

2Т

Т

Х допуст

t

Здесь kT – текущий момент замыкания, а функция δ(t) – дельта функция, имеющая математическое описание:



При этом  . Дельта функция вырезает в данном выражении значение f в момент to.

Изображение по Лапласу δ(t) равно Δ(s)=1.

Решетчатая функция получается из непрерывной функции r(t), если рассматривать только ее дискретные значения в моменты времени kT.

Описание дискретного процесса только решетчатой функцией не совсем корректно и физически, и математически. Одной и той же решетчатой функции могут соответствовать несколько непрерывных функций, которые называются огибающими решетчатой функции. Этот эффект необходимо учитывать.

Возникает иллюзия, что X управляется правильно, тогда как на самом деле величина Х может превышать допустимое значение.

*Экстраполятор нулевого порядка.*

Вырезанный на момент kT сигнал в ЦВМ запоминается как входной (не меняется в течение времени T – такта и так каждый такт). Поэтому в динамической схеме системы необходимо учесть не только «вырезание» сигналов в моменты kT, но и запоминание их на этом уровне до момента следующего съема информации с датчиков и поступления её на обработку в процессор(k+1)T. Это запоминание реально осуществляемое в памяти ЦВМ, в которую введены данные, в нашей структурной схеме цифровых систем управления осуществляется специальным структурным элементом, который мы назовем экстраполятором нулевого порядка. Экстраполятор нулевого порядка «замораживает» значение снятой с датчиков и вводимой в ЦВМ информации до начала следующего съёма.

Таким образом, дискретизация сигналов на входе и выходе управляющей ЦВМ моделируется сочетанием ключа и экстраполятора нулевого порядка.

r(t)

rd(t)

t

*r(t)*

(t)



rd(t)

Экстраполятор нулевого порядка

G0(s)

Непрерывная r(t) заменяется дискретной ступенчатой rd(t). Передаточная функция экстраполятора нулевого порядка трансцендентна и имеет вид:

 это разность двух сдвинутых единичных функций.

*Методы декомпозиции СТС и их математических моделей, как средство уменьшения сложности проектирования СТС*

Содержание концепции декомпозиции состоит в том, что при проектировании и исследовании СТС в первую очередь выявляется её внутренняя структура, характер связей между частями или элементами с целью свести по возможности исходную задачу исследования СТС к совокупности частных задач исследования её составных частей по возможности слабосвязанных. Цель декомпозиции – снизить сложность представления устройства системы, сложность её поведения и сложность представления её работы для разработчика пользователя и заказчика.

Каждая выделенная при декомпозиции часть проще для восприятия, описания поведения, проектирования, изготовления и эксплуатации. После чего объединение выделенных частей в целое также упрощается поскольку при этом можно абстрагироваться от деталей устройства каждой из них, сосредоточившись только на вопросах их взаимодействия.

В математике реализация принципа декомпозиции связана, как правило, с приемом замены переменных. Поэтому не удивительна та роль, которая отводится в науке управления поиску рациональных преобразований математических моделей и выражений, позволяющих разделить вектор состояния сложной системы на независимые части.

**Менее строгий, но также широко применяемый прием декомпозиции состоит в искусственном, но обоснованном упрощении математических моделей, что позволяет ослабить или полностью исключить связи между некоторыми их частями и создать тем самым предпосылки для разделения СТС на независимые части.** При этом надо учитывать, что декомпозиция не нарушает целостности системы. Т.е. декомпозированная система не ведро подсистем, а целостный объект, допускающий членения.

Начнем с широко применяемого в теории управления мехатронными СТС подхода, связанного с представлением модели движения СТС в виде двух моделей: моделей возмущенного и невозмущенного движения.

В большинстве случаев такая декомпозиция оправдана и упрощает исследование: исходная задача разбивается на две решаемые последовательно. Первая задача исследует закономерности идеализированного невозмущенного движения, а вторая учитывает действие возмущений на уже определенное невозмущенное движение.

Физическая основа такой декомпозиции разделение системы на части, имеющие сильно отличающиеся собственные частоты . В этом случаи влияние на медленно меняющие составляющие быстро меняющихся осредняется. А влияние на быстроменяющиеся части медленно меняющихся эквивалентно наличию каких-то постоянных возмущений или заданию медленноменяющейся программы.

Например, этот принцип декомпозиции реализуется применительно к системам управления подвижными объектами типа ракет, кораблей и т.п. **в виде разделения общей задачи управления на две задачи, которые назовем задачами наведения и стабилизации. Суть данной декомпозиции – выделить из общей задачи управления движением задачу программирования движения центра масс объекта и углового движения относительно центра масс объекта для попадания в заданную цель и задачу отработки найденных программ управления в том числе и по углу с парированием возмущающих воздействий, препятствующих выполнению найденных программ (задачу стабилизации).**

Системы стабилизации движения строятся и функционируют как замкнутые системы автоматического управления, целью управления которых является сведение к нулю отклонений между заданным системой наведения движением и фактическим движением, определяемым измеренными значениями соответствующих параметров движения. Здесь примером может служить управление движением корабля : одни люди ( капитан или штурман) прокладывают курс и задают направление движения, а рулевой просто выдерживает заданный курс, борясь с ветром, волнами и т.п. Даже, если рулевой и штурман это один человек, что бывает часто на небольших судах, эти задачи все равно решаются раздельно, как бы раздвоением личности.

В соответствии с перечисленными функциями система управления ракетой , которая по всем признакам является СТС, может быть разделена на три взаимосвязанные подсистемы:

Навигационно- измерительную систему,

Систему наведения ,

Систему стабилизации движения.

На рис.2 приведена схема системы управления движением СТС, вытекающая из данной декомпозиции.

входная информация

Программы выработки команд наведения

исполнительные органы системы наведения

Объект управления

исполнительные органы системы стабилизации

Программы выработки команд стабилизации

Измерительная система

БЦВМ

Рис2 Схема системы управления движением ракеты

Дальнейшее применение принципа декомпозиции связано с использованием, так называемого, «развязанного управления» - независимого управления многосвязным объектом по отдельным каналам. Принцип развязанного управления может быть использован не всегда, а только при наличии особых предпосылок в динамических свойствах и устройстве объекта управления. **Строго говоря главным динамическим свой ством объекта для развязного управления являются наличие слабых межканальных связей и возможность использования принципа суперпозиции, что характерно для линейных систем**.

Возможность линеаризации уравнений объекта управления при малых отклонениях от опорного движения позволяет провести декомпозицию и разделить задачу управления полетом ракеты на задачу управления поступательным движением ц.м. и на задачу управления угловым движением относительно ц.м.

**Далее движение ц.м. можно разделить на три движения в взаимно перпендикулярных плоскостях продольной, боковой и поперечной. При малых отклонениях движения РН от опорного эти три движения оказываются практически независимыми. Это в частности позволяет строить наведение и систему стабилизации в виде трех независимых каналов.**

Однако при больших отклонениях движения от опорного, что бывает при нештатных ситуациях, нарушаются условия линеаризации и не связанности каналов т.е. они влияют друг на друга и раздельное движение не реализуется. В этих случаях необходимо рассмотрение пространственного движения объекта управления. Таким образом, декомпозиция объекта управления с разделением на плоские каналы тангажного углового движения, движения в плоскости рыскания, продольного движения и углового движения относительно продольной оси может проводиться для большинства задач, не связанных с пространственным движением и большими отклонениями от программного движения на активных участках траектории.

**Лекция 7. Пример СТС, управляемой от встроенной ЦВМ. Метод Эйлера численного интегрирования уравнений управления СТС.**

*Пример системы управления с ЦВМ в контуре управления. Уравнения объекта управления*

Для примера реальной системы, управляемой ЦВМ, рассмотрим цифровую систему управления ракеты. При этом для начала пренебрежем эффектами квантования по времени и по уровню в бортовой управляющей ЦВМ. Получим линеаризованное описание отклонения ракеты по угловому положению от заданного, например, по каналу тангажа.

Ракета в процессе полета находится в сложном пространственном движении ее центра масс и угловом движении относительно центра масс. Доказано, что движение центра масс ракеты по траектории мало зависит от ее углового движения ,если угловые отклонения ракеты устойчивы и малы. Движение центра масс ракеты связано с угловым её движением относительно центра масс только в связи с изменением параметров уравнений объекта управления из-за изменений момента инерции в связи с расходом топлива и изменением аэродинамических сил в связи с изменениями высоты и скорости полета ракеты. Эти изменения известны заранее при полете ракеты по заданной траектории и могут быть учтены при при проектировании в расчете параметров модели углового движения ракеты. Это позволяет рассматривать движение ц.м. ракеты независимо от ее углового движения относительно ц.м. и наоборот.

При описании динамики объектов управления мехатронных систем краеугольным камнем является второй закон Ньютона. Для применения 2-го закона Ньютона необходимо задать некоторую систему координат, относительно которой будут определяться ускорение, скорость, положение, направление сил, действующих на объект.

Нам известен закон в форме:

 или ,

здесь F – вектор сил, действующих на объект.

 - вектор ускорения.

Применительно к плоскому вращательному движению объекта относительно точки центра масс (ц.м.) в плоскости тангажа 2-ой Закон Ньютона записывается в виде



Здесь Jо – момент инерции относительно центра вращения(ц.м.).

 - угол поворота ракеты в плоскости тангажа.

M – момент сил, действующих относительно центра масс.

Рассмотрим две системы прямоугольных координат с началом в одной точке – центре масс ракеты(ц.м.). Одну систему координат назовем связанной - она совпадает с осями ракеты. Другую систему координат назовем скоростной. В этой системе координат ось Х совпадает с вектором скорости ракеты. В невозмущенном движении ракеты вертикально при отсутствии ветра направления осей этих систем координат совпадают. При возмущениях, приводящих к угловым эволюциям ракеты, или при программном изменении углового положения продольной оси ракеты при ее движении к орбите выведения спутника между осями этих систем координат т.е между продольной осью ракеты и вектором скорости ракеты имеется угол, который и является в данном случае углом атаки набегающего потока. Аэродинамическая сила ,действующая на ракету, является функцией этого угла. Зависимость аэродинамических сил от угла атаки нелинейна, но при малых углах атаки может быть линеаризована.

Линеаризованное уравнение, полученное при малости отклонений угла тангажа от заданной величины, описывающее угловое движение ракеты по каналу тангажа на первой ступени полета.

Здесь:

- аэродинамический момент относительно центра масс;

- управляющий момент от поворота двигателя;

Мв – возмущающий момент от неточности изготовления и сборки ракеты;

α – угол атаки – угол между продольной осью ракеты и направлением набегающего потока;

J – момент инерции ракеты относительно ее ц. м.;

хт – положение центра масс;

хд – положение центра давления аэродинамических сил, (хт  -хд) – плечо аэродинамической силы относительно центра масс ракеты

– производная аэродинамических сил по углу атаки.

Разделим левую и правую часть равенства на J. Тогда, обозначая и ,имеем запись уравнения углового движения в угловых ускорениях:

Данная модель углового движения ракеты упрощена. Отсутствуют динамические члены уравнения, связанные с упругостью корпуса и с подвижностью топлива в баках. Кроме того мы не будем учитывать изменение во времени параметров уравнения – уменьшение Jz за счет расхода топлива, изменения за счет изменения скорости и высоты полета.

Значения коэффициентов уравнения углового движения ракеты принимались постоянными и равными

Сυυ = - 0,6 1/сек2 (ракета статически неустойчива – центр давления ближе к носу ракеты, чем центр масс)

Сυδ = 1 1/сек2

Мв = 0,2 1/сек2

*Закон управления, учитывающий скорость изменения управляемой координаты*

Линеаризованное описание отклонения ракеты по угловому положению от заданного по каналу тангажа и описание поведения управляющего устройства, имеет вид:

 + Сυυ υ + Сυδ δ = Мв

τ + δ = а0 υ + а1 

Здесь υ- отклонения угла тангажа от заданного положения

δ - отклонение управляющего органа ( управляющего двигателя ракеты)

Параметр τ определяет запаздывание в управляющем устройстве, определяемое инерционностью привода и управляющего двигателя, а параметр Т=а1/а0 определяет опережение по фазе, связанное с использованием в законе управления сигнала, пропорционального угловой скорости вращения ракеты по тангажу.

Запаздывание τ в управляющем устройстве (в контуре обратной связи (ОС)) катастрофически будет влиять на устойчивостьуглового движения ракеты.

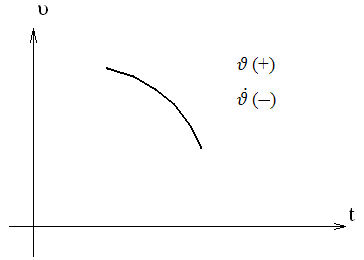
Это запаздывание приводит к раскачке ракеты - подталкиванию запаздывающим управляющим воздействием в фазу угловых колебаний вместо желаемого притормаживания. Запаздывание в контуре ОС можно парировать, внося упреждение в сигнал, выдаваемый на ИО.

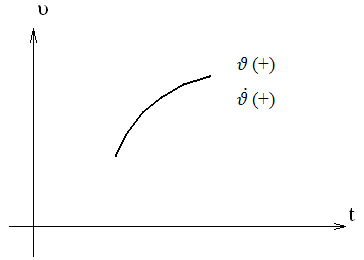
Это предвидение – упреждение появляется, если учитывать скорость изменения управляемой координаты. Для мехатронной СТС – это означает использование вместе с датчиком угла датчика угловой скорости.

Можно, конечно, дифференцировать сигнал угла, но операция дифференцирования всегда затруднительна в практической реализации из-за наличия помех в сигнале тангажа, которые операцией дифференцирования «подчеркиваются» .

Таким образом, управление ракетой в канале тангажа осуществляется по угловому отклонению и скорости изменения этого отклонения. Учет скорости изменения управляемой

координаты обеспечивает предсказание ее поведения на ближайшем интервале времени т. е. компенсирует запаздывания в контуре управления.





Действительно, если имеет место отклонения , но оно уменьшается, за счет набранной ракетой угловой скорости противоположного знака, то управляющее воздействие не должно быть чрезмерным, чтобы не вызвать перерегулирования. И обратно, если  и  имеют один знак, надо тормозить энергично нарастающее отклонение ракеты от заданного положения.

**Все это автоматически учитывает закон управления угловым движением ракеты по отклонению от заданного положения и скорости изменения этого отклонения.**

δ = а0 υ + а1 

*Дискретное описание цифрового автомата стабилизации ракеты.*

Уравнение автомата стабилизации в квазинепрерывном варианте мы записывали:



C учетом дискретности работы ЦВМ:



Здесь и – дискретные значения  и , совпадающие с и  в момент каждого опроса датчика угла положения (ДУП) и датчика угловой скорости (ДУС) и удерживаемые без изменения в памяти БЦВМ в течении времени периода решения задач управления – периода опроса. Это соответствует рассмотренному ранее представлению управляемых координат  и  решетчатой функцией с экстраполятором нулевого порядка.

*Численное интегрирование уравнений углового движения ракеты*

Рассмотрим метод Эйлера численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений

Дифференциальное уравнение в нормальной форме Коши первого порядка. 

Х

Х

0

0

t

t

ε1

ε2

Функция f(x,t) может быть как линейной, так и нелинейной. Представим производную в приближенном виде. По определению



и



Тогда, рассматривая ряд точек на временной оси с шагом (t=n ), имеем для точки номер n+1 и n

*=*  отсюда



Здесь n меняется от 0 до бесконечности и представляет собой дискретное время, измеренное в числе интервалов. Продолжая далее для следующего и последующих шагов имеем

xn+2= xn+1+tf(xn+1,t)

………………………………….

Отметим, что на каждом интервале - шаге  используется фиксированное значение производной в одной точке – в начале интервала и внутри каждого шага мы как бы движемся не по кривой решения, а по касательной к нему, проведенной из начальной точки шага. Это является причиной ошибки метода Эйлера, так как на самом деле производная меняется на интервале шага . На рисунках нижняя кривая - точное решение, верхняя - приближенное , полученное методом Эйлера. Ошибки полученные на каждом шаге суммируются. Причем чем больше шаг, тем больше ошибка.

Метод Эйлера достаточно груб и в практических случаях применяется редко, поскольку давно придуманы его уточнения, которые, правда, приводят к более сложным выкладкам . Эти уточнения косвенным образом учитывают не только первую производную в начальной точке шага, но и вторую, третью и т.п. Широкое распространение получили методы Рунге – Кутта и Адамса, которые имеются в библиотеках систем программирования. Мы в нашем курсе рассматриваем метод Эйлера, преследуя чисто методологические цели – показать простой и ясный метод численного интегрирования дифференциальных уравнений.

Уменьшение ошибки метода связаны с  **уменьшением шага интегрирования, либо с сокращением интервала интегрирования, так как ошибка накапливается.**

Для уравнения второго порядка, описывающего колебательное звено

,

необходимо преобразование его к нормальному виду Коши т.е. к системе двух уравнений первого порядка, разрешенных относительно первой производной. Для чего для данного примера обозначим



Тогда = -2x2 - x1 + M

= x2

Также как и ранее для уравнений первого порядка можно записать приближенные соотношения для точки номер n+1 и n

х2(n+1) = x2n+ t(-2x2n - x1n +M )

x1(n+1) = x1n +x2n

Для решения данного уравнения численным методом надо задать начальные условия. Пусть они будут нулевыми

x20 = x10 =0

Шаг интегрирования надо выбирать~0,01 от собственной частоты колебаний звена, равной . В этом случае точность интегрирования будет удовлетворительной.

**Лекция 8 Исследование качества управления СТС с цифровым управляющим устройством.****Точность управления.****Случайные и систематические ошибки датчиков системы управления**

*Влияние параметров автомата стабилизации и дискретности его работы на устойчивость углового движения ракеты*

Для использования метода Эйлера необходимо систему дифференциальных уравнений третьего порядка представить в виде трех уравнений первого порядка в так называемом виде Коши.

 + Сυυ υ + Сυδ δ = Мв

τ + δ = а0 υ + а1 

Обозначим = x0; = x1; δ = x2

На рисунках показано влияние параметров автомата стабилизации углового положения ракеты (АC )в том числе τ и T, влияние дискретности работы АС h на качество процессов управления. Увеличение h до значений 10 тактов за период собственных колебаний и уменьшение T до значений τ выводят процесс управления на границу устойчивости.

Зеленым обозначено изменения по времени угла поворота управляющего двигателя δ.

Красным обозначено изменения по времени угла поворота ракеты по тангажу υ. Ступенчатая функция - дискретные значения υд в БЦВМ.

Синим обозначено изменения по времени угловой скорости вращения ракеты по тангажу. Ступенчатая функция – дискретные значения д в БЦВМ.

Во всех приведенных случаях значения коэффициентов уравнения углового движения ракеты принимались постоянными и равными

Сυυ = - 0,6 1/сек2 (ракета статически неустойчива – центр давления ближе к носу ракеты, чем центр масс)

Сυδ = 1 1/сек2

Мв = 0,2 1/сек2

Цель анализа – выбрать параметры прежде всего автомата стабилизации, обеспечивающих приемлемое качество процессов управление. Изменение параметров объекта управления также возможно, но является гораздо более дорогим мероприятием.

Результаты получены путем численного интегрирования системы уравнений методом Эйлера . который является простейшим из множества разработанных для этой цели. В принципе , если бы не введенная нами при имитации дискретной работы ЦВМ нелинейность, невысокий порядок записанных уравнений позволил бы даже получить аналитическое решение с небольшими упрощениями. Однако, численное интегрирование позволяет получить решение, не делая упрощений. Широко применяется метод Рунге-Кутты интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений, который даёт более точный результат, но и более сложен. В математических системах например в Mathcad имеется более десяти функций для решения систем дифференциальных уравнений.



Дискретность работы АС равна О.5 сек. ,, а0=2 , а1=1

Система на границе устойчивости.



Дискретность работы АС равна О.1 сек., , а0=2, а1=1 . Система устойчива.



АС непрерывный и идеальный, =0 , а0=2, а1=1



АС непрерывный и неидеальный – с запаздыванием

=0.2 а0=2 а1=1



АС непрерывный и неидеальный – с запаздыванием, =0.2 , а0=2, а1=0.4 (постоянная времени дифференцирования 0,2). Система на границе устойчивости.

*Точность управления. Три составляющие, определяющие точность управления*

Если рассмотреть важнейший показатель качества управления – точность управления, то он имеет три составляющие:

1. динамическую, определяемую передаточной функцией системы и величиной такта дискретизации в управляющей ЦВМ,

2.установившуюся погрешность,

3.погрешность измерения датчиков

**Установившаяся погрешность устойчивой системы определяется после приравнивания нулю всех производных в приведенной системе при t→∞.**

**υустан = **

**Установившуюся ошибку можно определить и по передаточной функции для этого нужно в выражении для передаточной функции положить s=0.**

В, так называемых, статических системах статическая (установившаяся) ошибка принципиально присутствует, так как для компенсации постоянно действующего возмущающего момента необходимо приложить равный по величине и противоположный по знаку управляющий момент. Но он не может быть создан иным способом, как в соответствии с законом управления. Но в соответствии с законом управления управляющему моменту соответствует не нулевое значение управляемой координаты .Это значение и есть статическая ошибка, которая тем больше, чем больше компенсируемый возмущающий момент. Как видно из полученного выражения чем больше знаменатель, тем меньше ошибка при том же значении возмущения. Выражение в знаменателе ни что иное, как квадрат собственной частоты углового движения.

Когда мы вводили управление с ОС, мы подчеркивали, что ошибка управления во многом будет определяться характеристиками датчиков. Точность, стабильность и повторяемость результатов, быстрота реакции (реактивность) – важнейшие характеристики датчиков, выдающих информацию в управляющий компьютер.

В настоящее время, решение компромиссной задачи между высокой чувствительностью датчиков на изменение полезного сигнала и возникающей при этом высокой чувствительности к помехам и шуму, решается за счет цифровой фильтрации шумов во встроенных в датчики компьютеров-контроллеров.

Сказанное подразумевает наличие цифрового выхода с датчиков за счет встроенного АЦП, так как устройство самих чувствительных «головок» датчиков все же чаще всего по физике действия имеет непрерывный выход. Точность или погрешность измерения определяется разницей между измеренным и фактическим значением измеряемой величины. Поскольку действительная (фактическая) величина не известна, то точность оценивается на основе априорных калибровки датчиков при эталонных измерениях или апостериорной обработке результатов измерений при функционировании системы.

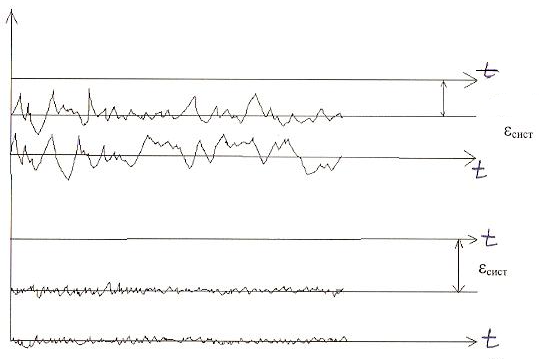
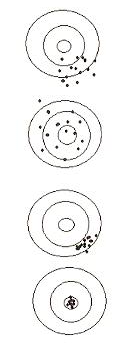
*Случайные и систематические ошибки датчиков системы управления*

Ошибки измерения датчиками могут быть случайными и детерминированными. Ошибки могут быть постоянными во времени и переменными, характеризующими нарастающий (вековой) уход датчика, например гироскопического датчика углового положения, автономных генераторов импульсов времени и т.п.

Случайные ошибки могут иметь систематическую составляющую – математическое ожидание ошибки по модулю больше 0.

Систематические ошибки повторяются при каждом измерении и могут быть связаны с неточностью изготовления датчика и его тарировки, а также с погрешностями (систематическими) его установки на объекте управления.

Систематические ошибки можно определить в процессе эксплуатации системы и можно их устранять-компенсировать путем внесения поправок в алгоритм обработки измерений в бортовой ЦВМ. Случайные ошибки возможно успешно фильтровать в той же бортовой ЦВМ, если их изменения во времени существенно по частоте отличаются от частоты изменения полезного сигнала.

 хороший датчик

*Суммирование случайных ошибок и отклонений в линейных системах.*

Пусть имеется ряд ошибок у датчика. Эти ошибки являются следствием ряда независимых и случайных причин: конструктивных разбросов, разбросов температуры, разбросов питающего напряжения и т.п. **Пусть эти ошибки имеют значения, не превышающие с большой вероятностью величину εi .** Учитывая случайный и независимый характер этих ошибок суммирование их нужно проводить по правилам суммирования случайных чисел, которые нам даёт теория вероятностей.

Математическое ожидание суммы независимых случайных ошибок равно сумме их математических ожиданий.

Дисперсия суммы независимых случайных ошибок равна сумме их дисперсий. Поэтому .Тогда среднеквадратичное отклонение суммы случайных ошибок 

Предельное отклонение или предельная случайная ошибка относительно математического ожидания ошибки с большой вероятностью равна εпред=3σ. (Для нормального закона с вероятностью 0,997).

 или εпред = < 

**Вопросы для повторения**

*Качество процессов управления* **.**

*Встроенные в систему ЦВМ. Методы анализа качества процессов управления*

*Методы анализа качества процессов управления*

*Устойчивость цифровых систем управления.*

*Характеристическое уравнение и его корни*

*Методы анализа устойчивости систем управления.*

*Преимущества и недостатки использования ЦВМ в контуре управления*

*Математическое описание цифровых систем. Решетчатые функции.*

*Экстраполятор нулевого порядка*

*Пример системы управления с ЦВМ в контуре управления..*

*Уравнения объекта управления и уравнения цифрового автомата стабилизации*

*Влияние параметров автомата стабилизации на устойчивость углового движения ракет*

*Точность управления в ЦСУ. Три составляющие, определяющие точность управления*

*Случайные и систематические ошибки датчиков системы управления*

*Суммирование случайных ошибок и отклонений в линейных системах.*

# Лекция 9. Локальные вычислительные сети – системообразующие структуры управления СТС.

*Задачи, вызвавшие появление вычислительных сетей.*

Вычислительная сеть (computer network) – взаимосвязанная совокупность территориально распределенных ЦВМ управления и обработки данных, систем связи и передачи данных (СПД), обеспечивающая пользователям, компонентам автоматических и автоматизированных систем коллективное использование этих ресурсов.

Развитие компьютерных сетей поддерживается потребностями решения следующих практических задач:

1.Задача совместного использования информационных ресурсов. Распределенный и удаленный доступ из территориально разнесенных мест, оснащенных ЦВМ, к базам данных и другим ресурсам, которые также могут быть распределены.

2.Распределенные вычисления, для которых требуются получение и передача исходных данных, передача промежуточных результатов для продолжения вычислений на программы, расположенные на других компьютерах (хостах). Чаще всего потребность в распределенных вычислениях связана с недостаточной производительность системной ЦВМ.

3.Задача распределенного управления, которая связана со сбором и обработкой данных и выдачей управляющих воздействий по территориально разнесенным элементам структуры системы управления сложными техническими системами, промышленными, медицинскими, научными и т.п

*Cети ЦВМ – системообразующая структура управления СТС*

В рассматриваемых системах управления с обратной связью функции управляющего устройства выполняет ЦВМ или сеть ЦВМ. Использование ЦВМ сулит большие преимущества в использовании сложных и эффективных алгоритмов управления.

Рассмотрим классическую типовую схему системы управления с ЦВМ в качестве устройства управления.

Исполнительные органы

(ИО)

Объект

Управления (ОУ)

Чувствительные элементы

(ЧЭ)

Управляющая

ЦВМ

Современная реализация этой схемы содержит периферийные ЦВМ(микроконтроллеры), встроенные в исполнительные органы и датчики.

Периферийные микроконтроллеры объединены в единую сеть вместе с системной ЦВМ, решающей системные задачи по полученной от периферийных ЦВМ информации. При этом задача коммуникаций между структурными элементами системы решается стандартными для выбранной сетевой технологии методами, что упрощает аппаратные решения и изменения состава аппаратуры, используемой в системе, при её модернизации.

Применительно к системам управления такая управляющая вычислительная сеть позволяет логически разделить обработку информации по датчикам, оснащенным встроенными ЦВМ, системной ЦВМ и по исполнительным органам (ИО), также имеющими в своём составе ЦВМ. Эти встроенные ЦВМ кроме задачи системной коммуникации решают задачи предварительной обработки информации с датчиков для транспортировки её в сжатом виде в центральную системную ЦВМ для решения задач управления системой.

Кроме того обработка внутренней контрольной информации для определения состояния устройств датчиков и ИО, принятие решений по восстановлению их работоспособности также возлагаются на периферийные встроенные в датчики и ИО ЦВМ-контроллеры.

ИО1

ЦВм

ИОк

ЦВм

Объект управления

ЧЭ1

ЦВМ

ЧЭп

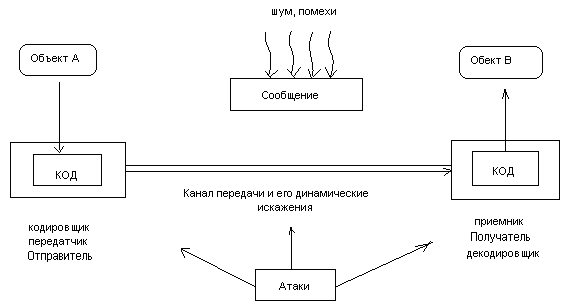
ЦВМ

Системная ЦВМ

**С учетом того, что ПО ЦВМ сети в совокупности определяет алгоритм функционирования системы и эффективность решения ею целевых задач подобная управляющая вычислительная сеть является системообразующим элементом СТС.**

Для системной управляющей ЦВМ также иногда применяют логическое разделение вычислительных ресурсов между несколькими ЦВМ, что связанно с нехваткой производительности одной ЦВМ и необходимостью её масштабирования.

*Схема процесса коммуникации и основные понятия сетевых технологий управления СТС*



ВВФФФ

ВВФ

Процессы коммуникации включают в себя всегда **передатчик** – отправитель (sender), который передает **сообщение** (message), состоящее из последовательности символов – **кода** (code) по **каналу передачи** (channel), и **приемник** – получатель (reсоver).

**Абонент** (узел, станция, хост, компьютер) - устройство, подключенное к сети и активно участвующее в информационном обмене. Чаще всего это компьютер или встроенный в аппаратуру контроллер.

Абонент может исполнять роль и передатчика, и приемника и поэтому имеет в своем составе оба этих устройства.

**Линия передачи данных** (среда передачи, линия передачи информации, канал передачи данных). Линия электрических, электромагнитных или оптических сигналов связи между компьютерами, включая, передатчик и приемник сигналов (терминалы).

Для передачи сообщения должен применяться **какой-либо код** в соответствии с которым передатчик изменяет физические свойства канала передачи при передаче каждого бита, а приемник восстанавливает код по каждому принятому биту сообщения, уловив эти изменения свойств канала передачи.

Приемник и передатчик находятся в различных устройствах и необходима **синхронизация** их работы. Решению задачи синхронизации передатчика и приемника уделяется много внимания, начиная от структуры пакетов и кончая выбором конструкции ЛПИ и выбором метода кодирования бит информации.

На канал передачи данных влияют **шум** (noise) и наведенные **помехи**, искажающие сообщения и затрудняющие распознавание приемником полезных изменений физических свойств среды передачи. Сообщения также могут быть искажены из-за влияния **электродинамики** канала передачи, особенно на высоких частотах передачи, характерных для управляющих сетей.

**Устройство заземления**, как для любой электроустановки имеет большое значение для надежной работы сети.

Информация, а точнее средства ее передачи, приема и хранения подвергаются воздействию **внешних возмущающих факторов (ВВФ),** которые если не предпринять меры по защите могут привести к разрушению или отказу аппаратуры и утрате передаваемой информации. К внешним возмущающим факторам относятся температура, давление, радиация или ионизирующие излучения, влажность, механические воздействия – удары и вибрации и т.п.

Для ЛВСуСТС эти ВВФ по уровню гораздо выше, чем для офисных сетей . Это накладывает на конструкцию устройств ЛВСуСТС и даже на устройство логических протоколов определяющее влияние.

Информация в узлах сети (хостах) и в среде передачи подвергается **атакам** с целью её прослушивания, искажения или хищения.

*Разделяемая среда передачи*

На рисунке изображена передача информации между передатчиком и приемником. Пусть в сети имеется всего n абонентов. Если все абоненты будут соединены между собой подобным образом по схеме «каждый с каждым», то число каналов передачи данных, число передатчиков и число приемников будет равно n\*(n-1). Это число быстро растет с ростом числа узлов n и очень быстро становится неприемлемо большим.

Поэтому вводится понятие «разделяемая среда передачи», к которой подключается несколько абонентов. В качестве разделяемой среды передачи используются либо коаксиальный кабель, либо витая пара , либо оптический кабель. либо радиоканал. В этом случае в каждый момент времени только один из узлов должен иметь доступ к разделяемой среде для передачи сообщения (пакета) другому узлу или всем узлам сразу.

В тех случаях, когда передачу одновременно ведут несколько узлов импульсы их сообщений накладываются друг на друга в канале передачи и все сообщения искажаются. В разных сетевых технологиях правила и средства доступа абонента на линию для начала передачи различны.

Благодаря Ethernet широкое распространение получил случайный распределенный доступ. В этом случае, желающий вести передачу узел должен сначала убедиться, что линия свободна от передачи сообщений. Если это так, то узел передаёт сообщение, которое получают все узлы, разделяющие общую среду передачи, но использует только тот узел, адрес которого содержится в сообщении. Но и при таком способе доступа на линию остаётся вероятность наложения сообщений – коллизии. Два или больше узлов, ожидающих освобождения линии, могут одновременно обнаружить её свободной и начать передачу. Поэтому необходимо предусмотреть средства обнаружения и разрешения коллизий.

Имеются сетевые технологии с централизованным доступом абонента на линию под управлением выделенного узла-«командира» (MIL STD 1553DB).

Имеются технологии с детерминированным доступом узлов на линию передачи информации путем передачи специального пакета – токена или метки последовательно всем узлам. При этом передачу может вести только тот узел, который владеет в данный момент времени токеном и т.п.

*Типовая структура пакетов ЛВС управления СТС*

Структура и размеры пакетов информации в каждой сетевой технологии определены стандартом сети и поддерживаются аппаратурой сети, топологией сети и порядком обмена информации, заключённом в т.н. протоколе сети.

Однако, имеются общие требования, делающие структуру пакетов похожей для различных сетевых технологий.

Пакет информации, передаваемой по сети, содержит в себе следующие основные поля:

1

2

3

4

5. Данные

6

7

2.Идентификатор приёмника

4.Управляющая информация

3.Идентификатор передатчика

1.Преамбула

6.Контрольная сумма

7.Стоповая комбинация

1) Преамбула или стартовая комбинация бит обеспечивает предварительную настройку сетевого адаптера приемника на приём и обработку пакета. Это поле может отсутствовать или сводиться к одному биту.

2) Идентификатор приёмника – уникальный сетевой адрес приёмника. Позволяет передатчику адресовывать, а приёмнику распознавать сообщение, адресованное ему лично либо всем абонентам сети (при широковещательном сообщении).

3) Идентификатор передатчика (передающего абонента) – уникальный сетевой адрес, информирующий приёмник, откуда пришло сообщение. В зависимости от того, кто передатчик, у приёмника может быть построена логика работы, например выполнять пришедшую команду или не выполнять..

4) Управляющая информация указывает тип пакета, его номер в сообщении, размер, формат.

5) Контрольная сумма пакета – числовой код, формируемый передатчиком по определённому алгоритму и содержащий сжатую информацию обо всём пакете. При получении пакета приемник подсчитывает его контрольную сумму по тому же алгоритму. Алгоритм контрольной суммы выбирается так, чтобы искажение любого бита или группы бит пакета приводило к изменению контрольной суммы. При совпадении контрольных сумм считается, что сообщение принято без искажений. При несовпадении приёмник действует по логике протокола – чаще всего для начала запрашивает повторение передачи.

6) Стоповая комбинация служит для обозначения окончания пакета. Может отсутствовать в конкретном протоколе, если используется самосинхронизирующийся код.

Часто поля описанных позиций 1, 2, 3, 4 называются заголовком пакета, а поля позиций 6, 7 – хвостом пакета (хвостовиком).

*Обнаружение ошибок при передаче данных. Циклический избыточный контроль CRC (Cyclic Redundancy Check).*

Физический канал передачи данных подвержен затуханиям сигнала, динамическим искажением, внешним помехам, что не даёт гарантии, что данные будут доставлены без искажений. Эти ошибки влияют на безопасность информации (целостность, доступность).

Применяются методы защиты информации контрольной суммой, что предусмотрено структурой пакета.

Возможны и другие методы защиты, реализуемые на прикладном уровне. Например, трёхкратная передача сообщения и сравнение 3-х экземпляров принятого сообщения у приёмника. Или передача сообщения с обратной проверкой (с информационной обратной связью).

Во всех случаях речь идёт о внесении кодовой или временной избыточности.

Избыточностью можно компенсировать недостаточную надёжность устройств.

Существуют так же методы кодирования информации, обнаруживающие и исправляющие ошибки у приемника после получения им сообщения. Они тоже основаны на избыточности. К исходному сообщению добавляется контрольная информация, по которой приёмник может обнаружить и исправить возникшие ошибки.

Длина исходного сообщения при этом возрастает (>20%), тем больше, чем больше количество ошибок может исправить применяемый метод кодирования.

Поэтому более экономичным решением вопроса следует считать наличие простых методов обнаружения и запрос повтора передачи в случае их обнаружения. Например, путем подсчета контрольной суммы (К∑). Проблема состоит в том, что подсчёт K∑ должен иметь простой и быстрый алгоритм (на каждый пакет КС считается дважды – при отправке сообщения передатчиком и при получении сообщения приемником) и обнаруживать двойные ошибки и ошибки большей кратности.

Простой подсчёт 1 и 0 в сообщении («чистое» K∑) гарантированно не обнаруживает ошибки кратности 2, 4 и т.п. (четной кратности). Например, одна ошибка передачи исказила 1, преобразовав её в 0, а другая ошибка преобразовала другой бит информации из 0 в 1. В результате число 1 и число нулей в сообщении не изменилось т.е. подобная K∑, как бы правильная. Но сообщение искажено и дважды. Поэтому применяются более сложные методы K∑. В настоящее время наиболее популярными являются CRC.

Передаваемое сообщение рассматривается в виде одного многоразрядного двоичного числа. Например, кадр Ethernet размером 1024 байта. Контрольной информацией считается остаток от деления этого числа на известный делитель R. Обычно R – 17-ти или 34-битное число. Остаток от деления при этом имеет длину 2 или 4 байта и помещается в поле K∑ кадра. По замыслу сколько бы ни было искажений в исходном сообщении остаток от деления это почувствует и изменится. Доказано, что **метод CRC обнаруживает все одинарные ошибки, двойные ошибки и ошибки в нечётном числе бит.**

Длительность искажающей помехи может перекрывать несколько бит при современных высокоскоростных линиях, так что вероятность искажения чётного числа бит имеется.

После обнаружения ошибки при передаче приемник оповещает об этом передатчик, который в большинстве случаев повторяет передачу, поскольку ошибки появляются сравнительно редко. Общие потери производительности сети оказываются меньше, чем в случае с помехоустойчивым кодированием.

*Дуплексная и полудуплексная передача информации в ЛВС*

При передаче информации в сети обычно требуется передавать информацию в обоих направлениях. Даже когда пользователю кажется что он только получает информацию, например, из интернет обмен информацией идет в двух направлениях, так как на ряду с основными потоками информации, которая интересует пользователя существует поток служебной информации – квитанции полученных данных, служебные события для установления соединений и т.п. Поэтому и ОУ и К в своем составе имеют и передатчик и приемник.

Дуплексный канал обеспечивает одновременную передачу информации в обоих направлениях. Как правило он состоит из двух физических сред, каждая из которых передает информацию в одном направлении.

Передача информации в каждом из каналов может идти параллельно с другим.

Полудуплексный канал тоже обеспечивает передачу информации в обоих направлениях, но не одновременно, а по очереди. То есть в течении одного периода времени информация идет в одном направлении , а в течении другого в обратном.

*Топология вычислительных сетей.*

Когда компьютеров в сети становится больше 2, возникает задача выбора конфигурации (структуры) связей между ними.  
Под топологией сети понимается структура взаимодействия компьютеров в сети. Существует пять базовых топологий ЛВС :

Шина, звезда, кольцо, дерево, ячеистая.

Физическое размещение компьютеров по кольцу, в линию и т.п. не есть топология сети.

Кольцевому физическому размещению компьютеров в сети могут соответствовать топология шина и топология кольцо и даже каждый с каждым.

*Топология шина и безопасность сети*

Схематическое изображение

Электрические соединения топология шина:

Линия передачи информации

шлейф

Согласующие

резисторы

Все компьютеры электрически параллельно подключены к одной линии связи. Все компьютеры сети получают информацию, передаваемую одним из компьютеров. Если информация, передаваемая в сеть предназначена только одному абоненту, то должен быть указан его адрес. Остальные компьютеры сети, получив не предназначенную для них информацию не должны ее воспринимать, запоминать и реагировать на нее.

Однако, безопасность сети может быть нарушена, если найдется абонент, который несанкционированно будет пытаться запомнить и обработать непредназначенную ему информацию.

Ещё большая опасность – «генерация» узла в сеть, полностью блокирующая её работу.

В сети с топологией шина компьютеры выдавать информацию в сеть могут только по очереди, так как при одновременной передаче несколькими абонентами произойдет наложение информационных сигналов в линии передачи и сообщения, одновременно передающих узлов будут искажены.

Поэтому шина – общий разделяемый ресурс и требуется специальное управление строго поочередного доступа к ней. Это управление может быть централизованным от одного из узлов сети, который объявляется центральным - управляющим, либо распределенным без выделения «управляющего» узла. В этом случае возможны столкновения пакетов ,передаваемых различными узлами одновременно, – коллизии, которые обязательно должны быть обнаружены и устранены.

Характеристики шинной топологии:

1. При данной топологии, отказ любого узла (кроме центрального при централизованном доступе) не приводит к отказу сети.

2.Шинная топология опасна возможностью атаки на доступность. Безопасность сети можно нарушить не только несанкционированным перехватом данных, но и активной злоумышленной непрерывной передачей одного из абонентов, что делает сеть недоступной для передачи полезных сообщений другими абонентами.

3.Преимущество топологии шина связаны с тем, что длина линий передачи по сравнению с другими топологиями минимальная при одном и том же расположении компьютеров, что в ряде применений – дает серьезное преимущество.

4.Серьезный недостаток топологии - низкая производительность из-за необходимости ожидания абонентами освобождения занятого общего ресурса-шины. Низкая надежность – из-за угрозы обрыва ЛПИ и угрозы «генерации», реализация которых – выход из строя всей сети. Топология «шина» получила широкое распространение в различных вариантах обеспечения доступа узлов на линию передачи (Ethernet, MILSTD1553B, CAN и т.п.) .

**Лекция 10. Особенности ЛВС управления СТС. Задержки передачи сообщения в ЛВС управления СТС с шинной топологией .**

*Особенности ЛВС управления СТС*

Особую разновидность ЛВС представляют встроенные в сложные технические системы локальные сети, предназначенные для работы в составе систем управления этими объектами.

Основной проблемой передачи данных в таких сетях является доставка за заданное минимальное время сообщения из А в В без нарушения его конфиденциальности, доступности и целостности. Доступность и целостность оцениваются достоверностью полученного сообщения чему препятствуют динамика ЛПД, шумы и помехи.

Достоверность означает, что вероятность приема и правильной дешифровки правильного сообщения в приемнике В должна иметь величину не ниже заданной. Для значительного повышения этой вероятности передача данных контролируется и в случае передачи с ошибкой она, как правило, повторяется. Контроль правильности передачи в разных сетевых технологиях различен, но в той или иной форме он базируется на внесении избыточности в сообщение.

**В системах управления, передаваемые данные по соглашению (протоколу) могут интерпретироваться приемником как прямые команды управления, т.е. приемник по ним прямым образом выполняет заданные действия.**

На искажение информации при передаче данных влияют не только чисто технические причины, связанные с характеристиками среды передачи, ненадежности средств передачи, хранения и обработки информации, но и злонамеренно организованные и несанкционированные действия (атаки). Мы рассматриваем сети управления СТС. При этом упомянутые атаки также возможны, как на технологических этапах подготовки СТС, так и на этапе функционирования СТС. Например, вскрытие электронных замков и замка зажигания в автомобильной сети CAN.

ЛВС управления СТС характеризуются:

1) относительно небольшими размерами сообщений, достаточными для передачи информации управления за минимальное время.

2) четким детерминированным поведением при реализации доступа абонентов к среде передачи,

3) относительно небольшой охватываемой площадью, длина ЛПД 1000м. Число узлов  100.

4) Высокими требованиями к безопасности и надежности передачи данных. Для таких сетей разработаны специальные стандарты и протоколы, в которых повышена надежность работы физического и канального уровней взаимодействия систем для работы в промышленной среде и при управлении подвижными объектами в условиях воздействия значительных электромагнитных помех.

5) Маршрутизация сообщений в таких сетях не требуется, но появились исключения (Space Wire).

6)Устройства и элементы таких сетей работают в условиях далёких от офисных при воздействии внешних возмущающих факторов (температуры, вибрации, радиации ит.п.) и должны их выдерживать. Оператор, если он должен участвовать в работе таких сетей, должен иметь удалённый доступ, что достижимо технически.

7) Входной поток задач на решение каждой ЦВМ сети в отличие от большинства офисных сетей и сетей передачи данных не является случайным, а скорее относится к классу регулярных, так как в течении всего времени работы автоматической системы в ЦВМ с определенным периодом решается один и тот же набор задач управления. Величина этого периода определяется динамикой конкретной системы. Но и строго регулярным этот поток тоже назвать нельзя.

Во первых длительность решения задач в каждом периоде может меняться, так как зависит от пришедших исходных данных на текущий момент времени (можно считать, что имеется случайная составляющая времени обслуживания). Во вторых в фиксированном наборе задач таких систем всегда есть задачи, инициируемые внешними событиями, например, через систему прерывания асинхронно к потоку задач, исполняемых с заданным периодом. Поэтому мы будем рассматривать и случайный и регулярный потоки входных задач – заявок на обслуживание.

Все эти особенности находят отражения в принятых технических решениях для ЛВС у СТС.

*Использование теории массового обслуживания для определения времени ожидания освобождения шины ,как общего ресурса.*

**Для ЛВС шина – общий разделяемый всеми абонентами ресурс.** Каждый абонент работает с шиной последовательно – одновременная передача сообщений несколькими абонентами невозможна и запрещена. Если один абонент сети захватил шину, то он её не освободит пока не передаст своё сообщение. Остальные абоненты ждут её освобождения.

Всех интересует вопрос каково же будет среднее время ожидания любым абонентом начала передачи и каково будет общее среднее время передачи сообщения с учетом ожидания им начала передачи в некоторой обобщенной очереди абонентов к шине?

**Это время прямым образом входит в запаздывание выдачи управляющих воздействий в системе управления СТС, в которую входит данная ЛВС.**

Причем суммарное время вносимого сетью запаздывания определяется как передачами информации со всех датчиков в системную ЦВМ, так и передачей команд на все исполнительные органы из системной ЦВМ.

Взаимодействие шины ЛВС с абонентами можно рассматривать с позиций теории систем массового обслуживания (теории очередей), где шина - обслуживающее устройство, а поступающие запросы на передачу сообщений (данных и команд) - заявки на обслуживание, которые исполняются в системе (передаются) течение времени tобсл, которое является только частью времени отклика или временной задержки передачи. Другая часть – время пребывания в очереди к шине в ожидании её освобождения от передачи текущего сообщения. Причем в сетях с распределенным доступом абонентов на ЛПИ очередь – виртуальная, а в сетях с централизованным доступом абонентов к ЛПИ сети очередь в явном виде находится в ЦВМ-контроллера сети.

В общем случае заявки на обслуживание (передачу ) поступают на шину в случайные моменты времени. Также является случайным объем передаваемых данных т.е. время передачи информации. Это является причиной очередей и ожидания начала передачи, так как заявка, застав общий ресурс - шину занятым обслуживанием предыдущей заявки, встает в обобщенную очередь ожидающих своего обслуживания заявок, но не пропадает.

Время передачи сообщений по шине tобсл, таким образом, является случайным и в случае регулярного входного потока заявок на передачу.

Теория массового обслуживания - теория очередей даёт ответ на поставленный вопрос о времени пребывания сообщения в ожидании освобождения шины и начала передачи. Правда этот ответ оговаривается некоторыми упрощениями и допущениями, делающий его приближенным. Зато модели систем массового обслуживания (СМО) позволяют понять, выделить и определить основные временные характеристики процесса передачи информации, как процесса обслуживания заявок при некоторых предположениях о законах распределения вероятности появления заявок и времени обслуживания (времени передачи сообщений).

Важность результатов этих моделей мы ощутили в курсе НИКПО, когда установили, что даже в случаях рекомендуемых и вполне приемлемых загрузок обслуживающего устройства решением задач время нахождения заявки в очереди в ожидании начала обслуживания равно или в несколько раз больше, чем время непосредственно обслуживания. Более точные результаты можно получить методами математического имитационного моделирования, но для этого нужно создать компьютерную модель сети.

*Простейший поток событий и очереди к обслуживающему устройству*

Потоком событий называется последовательность однородных событий следующих одно за другим, как правило, в случайные моменты времени

Часто используемое упрощение связано с тем, что рассматривается случайный поток событий (заявок )с пуассоновским законом распределения количества заявок (К) на интервале времени τ. **Такой поток называется простейшим и обладает свойствами стационарности, ординарности, отсутствием последействия.** Для такого потока вероятность поступления на интервалеτ ровно К событий определяется формулой

( λτ)к

Рк (τ ) = ---------- е-λτ - пуассоновский закон распределения вероятностей.

К!

Рк() – вероятность того, что на интервале появится ровно К заявок,

λ - средняя интенсивность появления заявок – среднее число заявок за единицу времени;

- среднее число поступивших заявок на интервале .

Приводим без доказательств:

1. Для простейшего потока интервал времени T между двумя соседними заявками распределен по показательному закону с плотностью вероятности.

f(t) = λ e-λt (t)

2. Для случайной величины, распределенной по показательному закону математическое ожидание m равно среднеквадратичному отклонению и равно 1/.

Поэтому для случайного распределения интервала между заявками в простейшем потоке коэффициент вариации, определяемый как

=1

Для регулярного потока  и коэффициент вариации vT также равен нулю .

Для большинства потоков, встречающихся на практике коэффициент вариации находится между 0 и 1 и может служить мерой его регулярности. Простейший поток в этом случае наиболее «случаен».

**Для простейшего потока характерны «сгустки» поступающих заявок, так как малые интервалы между заявками( t около 0) имеют большую вероятность появления, чем большие( см.** f(t)). Это и приводит к возникновению очередей.

Простейший поток в теории СМО играет особую роль, поскольку обладает предельными свойствами среди потоков заявок с различными законами распределения числа заявок на заданном интервале времени. При суммировании большого числа независимых стационарных потоков с произвольным законом распределения вероятностей интервалов между заявками получается поток близкий к простейшему.

К тому же с точки зрения величины задержек он - наихудший и дает наибольшее время отклика. Это обусловило его широкое применение в инженерной практике, так как его использование дает гарантированное решение. Т.Е. мы добъемся того, что для простейшего входного потока у нас система получается с заданными характеристиками качества функционирования, то для всех остальных входных потоков характеристики будут только лучше.

**Мы также будем рассматривать регулярный входной поток, в котором события следуют одно за другим через равные промежутки времени, помятуя о встроенных в системы ЦВМ, имеющие фиксированный набор задач, решаемых с определенным периодом.**

*Время отклика обслуживающего устройства и его связь со средней загрузкой для простейшего и регулярного входного потока*

Время отклика Тсист равно промежутку времени от момента поступления заявки на обслуживание ( возникновения в узле необходимости передачи сообщения и попытке реализации этой операции) до момента окончания ее обслуживания (передачи сообщения адресату). Именно Тсист определяет динамику системы с управляющей сетью ЦВМ.

Теория систем массового обслуживания позволяет связать Тсист с другой важной характеристикой - средней **загрузкой ρ вычислительной машины, определяемой отношением времени работы шины по передаче информации на определенном временном интервале к величине этого интервала.** Эти две характеристики функционирования шины во времени тесно между собой связаны. Чем меньше загрузка системы – тем меньше вероятность ожидания в очереди вновь пришедшей заявки, тем меньше и задержка – время отклика, но она не может быть меньше времени передачи сообщения шиной.

Обозначим: λ - среднюю интенсивность появления заявок на   
решение задач;

μ - среднюю интенсивность обслуживания ( среднее число сообщений , передаваемых в секунду)

N – среднее число поступивших на интервале t заявок на передачу сообщений

tобсл – среднее время передачи оного сообщения

ρ= tобсл × N/t =λ/1/ tобсл = λ/μ

**Физический смысл средней загрузки ЦВМ решением задач ПО  – среднее число поступающих заявок за среднее время обслуживания одной заявки . Эта величина  должна быть меньше 1 иначе очередь вырастет до бесконечности.**

С другой стороны при средней загрузке ** <** 1, очередь все равно образуется, что связано со случайными «сгустками» заявок на входе в обслуживающее устройство и случайными задержками в обслуживании.

Методы теории массового обслуживания на основании сделанных предположений о законах распределения интенсивности появления заявок, интенсивности их обслуживания позволяют получить основные характеристики процесса обслуживания заявок (среднюю задержку, среднюю длину очереди, среднее время пребывания в очереди и другие) в зависимости от величины загрузки ЦВМ ρ.

Для одноканальной СМО с простейшим входным потоком и экспоненциальным обслуживанием среднее время пребывания заявки в системе Тсист – время отклика приводим без доказательства. При этом отметим, что в этом случае предполагается порядок выбора заявки из очереди на обслуживание : первый пришел первый обслужился.

В нашей модели порядок доступа на шину ожидающих освобождения шины узлов, образующих некоторую обобщенную очередь, скорее случайный, но мы для упрощения задачи будем считать порядок доступа: первый пришел первый обслужился

Тсист=

Учитывая, что μ =1/ tобсл ,запишем, умножая левую и правую часть на 

Тсист/tобсл=Тсистотн=1/(1-

для простейшего потока заявок и экспоненциального обслуживания

Tсистотн = 

Тсистотн –средняя задержка получения сообщения абонентом, измеренная в количестве средних времен передачи сообщения.

Для регулярного поступления сообщений на шину, что чаще всего бывает в системах управления, и случайного времени передачи, распределенного по экспоненциальному закону теория массового обслуживания даёт для длины очереди к обслуживающему устройству Lоч формулу в виде неравенства

 -  ≤ Lоч ≤  + 

Заметим, что величина  находится между верхней и нижней границей оценки и следовательно может быть использована, как приближенное значение:

Lоч ≈ 

Но в соответствии с формулой Литла

TСист = 

Делая алгебраические преобразования имеем

Tсистотн =  - 

Как и следовало ожидать значение времени передачи сообщения, измеренное в количестве средних времен обслуживания в этом случае меньше, чем в случае простейшего входного потока заявок на передачу сообщений, исходящих от каждого узла сети.

Из анализа длины очереди и времени ожидания обслуживания можно сделать два вывода

первый вывод: для простейшего входного потока и экспоненциального распределения времени обслуживания суммарное время пребывания сообщения в системе с учетом ожидания обслуживания больше, чем для регулярного входного потока.

второй вывод : необходимо поддерживать 0,5 < ρ < 0,8. В этом случае малым приращениям μ , соответствует малое приращение времени пребывания заявки в системе Тсист и неточности в знании  и  не приводят к большим ошибкам в определении размера очереди к процессору.

В полученных выражениях мы не рассматривали возможность коллизий. Их наличие вносит дополнительные ожидания заявок в течении времени их разрешения. Это сильно усложнит расчетные выражения теории СМО, но при этом связь времени пребывания заявки в системе сохранит свою зависимость от средней загрузки обслуживающего устройства. В ЛВС CAN коллизии, как станет ясным из дальнейшего изложения, не приводят к появлению дополнительных времен ожидания, но обслуживание станет приоритетным, что также усложнит расчетные формулы, не меняя упомянутого главного результата, ради которого мы привлекли теорию массового обслуживания.

Теория СМО приводит к выражениям простой структуры только в рассмотренных упрощениях. Для других распределений времен обслуживания и других входных потоков, для учета характерных особенностей работы некоторых реальных ЛВС эти выражения настолько громоздки, что все равно их необходимо анализировать численно. В этих случаях возможно применить имитационное математическое численное моделирование процессов прохождения задач, не прибегая к аналитическим выражениям теории СМО.

# Лекция №11. Проблема синхронизации передатчика и приемника. Примеры защищенные ЛВС управления для сложных технических систем

*Кодирование бит информации. Непосредственный способ передачи цифровых данных. Код NRZ*

Существует два основных способа передачи цифровых сообщений – битовых последовательностей по физическому каналу:

- посылка бит в линию непосредственно путем присвоения каждому биту информации соответствующего набора уровней электрических сигналов в ЛПИ (информационных импульсов),

-модуляцию несущей передаваемой информации либо по амплитуде, либо по фазе, либо по частоте и передача модулированного высокочастотного сигнала.

Последнее используется в основном в беспроводных сетях и радиоканалах.

В коде NRZ (Non Return to Zero – без возврата к нулю) логическому нулю соответствует высокий уровень напряжения в кабеле, а логической единице низкий или наоборот, так как это не принципиально. Уровни сигнала кроме того могут иметь разную или одинаковую полярность, что также не принципиально. Принципиально же то, что в течении передачи одного бита (битового интервале) не происходит изменения уровня напряжения т.е. переход от бита к биту одного уровня в этом способе кодирования никак не обозначается.


Достоинства кода NRZ – простая реализация, а также минимальная потребная пропускная способность канала передачи, так как при других способах кодирования бит внутри битового интервала проходит изменение уровня напряжения. Недостаток кода NRZ – возможность потери синхронизации приемника и передатчика при передаче длительных последовательностей бит информации одного уровня. Это ведет к потере целостности информации.

*Проблема синхронизации передатчика и приемника*

Имеется проблема синхронизации последовательного кода , связанная с сохранением целостности передаваемой информации:

например, если идет передача последовательностей нолей или единиц, приемник непосредственно по получаемой информации может определить границы битовых интервалов и определиться с количеством полученных подряд нолей и единиц только при определенном типе кодирования сообщений

Наиболее распространенные методы кодирования информации:



Для кодирования NRZ вся надежда на внутренние часы приемника и передатчика, по которым можно определить количество переданных подряд нолей или единиц, ориентируясь на время передачи сообщения.

Это можно сделать, если «часы приемника и передатчика» синхронны. Однако, это надежда разбивается возможной и допустимой рассинхронизацией «внутренних часов» передатчика и приемника.

Так, при длине пакета информации 12 000 бит (1500 байт) допустимое расхождение «часов» приемника и передатчика не должно составлять более 0.01 % что представляет довольно трудную инженерную задачу. При превышении этого уровня расхождение «часов» может превысить длительность одного или нескольких бит, что приводит к ошибке по числу принятых бит у приемника при передаче данных.

Передатчик и приемник в данном случае расположены в разных узлах ЛВС, работающих в различных условиях по питающему напряжению, температуре среды и т. п. Все это увеличивает возможный разброс частот задающих генераторов рассматриваемых узлов.

Пусть передатчик послал сообщение из L бит длительностью t1. Приемник его принял и для определения числа бит в нем «измерил» длительность сообщения. У приемника свой генератор временных меток- свои «часы» и длительность этого же сообщения он определил ,как t2 . С учетом сказанного t1 не равно t2. По значению t2 приемник определил число бит в полученном сообщении Lприн, равное

Lприн = t2/длительность одного бита

Учитывая, что длительность одного бита, определена протоколом сети и равна с точки «зрения» передатчика

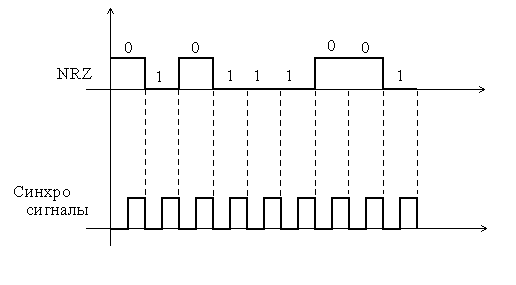
Длительность одного бита = t1/L

Подставляя это значение в предыдущее выражение, имеем для нашего примера

Lприн=L\*t1/t2=1,00001\*L

Для сообщения длинной в L=10000 бит это приведет к определению приемником длины сообщения Lприн на один бит больше , чем отправил передатчик. Контрольные суммы не совпадут.

Во избежание потерь информации и не желая усложнять конструкцию генераторов импульсов узлов сети для синхронизации иногда применяют специальную линию, по которой в течении передачи информации постоянно передают синхросигналы, по которым приемник определяет границы принимаемых бит. Но этот способ синхронизации увеличивает количество проводов, подходящих к приемникам и передатчикам сигнала в устройствах абонентов сети.



В связи с этим код NRZ без дополнительных линий синхросигналов может быть использован только для передачи коротких сообщений. Например, длина сообщения в сети CAN не превышает 110 бит. Поэтому применение кода NRZ здесь вполне возможно.

*Самосинхронизирующиеся коды. Код RZ. Манчестерский код.*

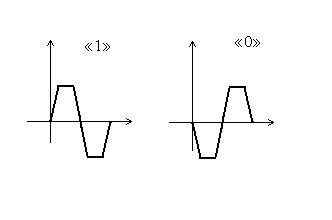
Два остальных рассматриваемых нами способа кодирования (RZ и манчестерское кодирование) вводят изменение уровня сигнала на битовом интервале, что позволяет приемнику точно синхронизировать прием каждого бита и устранить угрозу целостности информации. В результате расхождения «внутренних часов» приемника и передатчика уже не имеет значения и приемник может надежно принимать последовательность битов любой длины. Такие коды называются самосинхронизирующиеся. За это приходится платить, код RZ требует в двое большей полосы пропускания канала при той же скорости передачи данных, так как на один битовой интервал приходится два изменения уровня сигнала.

Наличие трех уровней сигнала усложняет передатчик и приемник при кодировании RZ. Самосинхронизирующийся манчестерский код широко применяется в локальных сетях. В отличии от кода RZ он имеет не три, а два уровня. Логическому нулю соответствует отрицательный переход в центре битового интервала.

а логическая единице положительный переход. (возможно и наоборот).

Таким образом, логический ноль отличается от логической единицы фазой сигнала.

Код фазоманипулированный



Фазовая манипуляция всегда более помехоустойчивая чем амплитудная и поэтому код манчестер II обладает повышенной помехоустойчевостью по сравнению с NRZ и RZ.

# *Примеры ЛВС управления СТС. Защищенная сеть MILSTD 1553B (ГОСТ Р-5207-2003)*

Сеть создана для управления бортовой аппаратурой авиационно-космических изделий, имеющих в своем составе встроенные в БА ЦВМ. Стандарт получил широкое распространение во всем мире, и под этот стандарт произведены сотни тысяч образцов оборудования, соответствующих этому стандарту. Стандарт был утвержден в СССР в виде ГОСТ, а позже и в России. Последняя версия имеет наименование ГОСТ-Р-5207-2003.

Отличительная особенность стандарта – многоуровневые меры по защите предаваемой информации.

*Физический и Канальный уровень сети MILSTD 1553B*

Рассматриваемая сеть имеет шинную топологию, к которой подключены абоненты – устройства интерфейса. Подключения абонентов возможны напрямую, а возможны на шлейфах (в отводах от шин) длинной до шести метров, что упрощает компоновку аппаратуры на объектах управления (спутниках, ракетах, самолетах). В последнем случае для согласования волновых сопротивлений шлейфов и линии передачи необходимо применение специальных согласующих устройств, описанных в стандарте. Среда передачи, предусмотренная стандартом – экранированная витая пара. Передача ведется фазоманипулированным кодом Манчестер II на частоте 1 МГц. Код Манчестер II нами рассмотрен ранее, является самосинхронизирующимся. На такой частоте передачи в линии имеют место волновые эффекты. С этим связаны ограничения на длину шлейфов, длину ЛПИ ( она ограничена ~500 м.) и количество абонентов на линии – 32 (под адрес выделено 5 бит).

На канальном уровне сети MILSTD1553B применен централизованный метод доступа абонентов в сеть. Один из абонентов сети объявлен центральным и **называется контроллером** сети. Остальные абоненты называются **оконечными устройствами (ОУ) и играют подчиненную по отношению к контроллеру роль.** ОУ постоянно слушают сеть, но не имеют права самостоятельно начать передачу до тех пор, пока не получат соответствующую команду от контроллера. Таким образом, обеспечивается разделение ресурсов общей шины между ОУ и контроллером. Благодаря такой дисциплине выхода ОУ на линию передачи информации в каждый момент времени на линии может вести передачу только один абонент – контроллер либо назначенный им ОУ. Коллизии при такой схеме работы отсутствуют.

Передача команд и данных от контроллера к ОУ квитируется ОУ путем посылки им в ответ на **любое обращение: полученную команду, запрос данных или переданные данные «ответного слова» в контроллер**. В ответном слове ОУ сообщает не только факт приема сообщения от контроллера, но и состояние абонента (его исправность или неисправность), а также состояние самого ОУ. Абонент формирует признаки своего состояния и засылает их в ОУ по своей внутренней логике, которая согласовывается дополнительно с разработчиком конкретной сети. Эта логика реализуется на прикладном уровне разработчиком ПО.

Отсутствие ответного слова в течение заданного времени **(4-12 мксек.)** рассматривается контроллером как нештатная ситуация. Порядок действий в этом случае стандартом не определен. Обычно контроллер повторяет передачу. Делает это также ПО прикладного уровня в ЦВМ контроллера.

*Типы и форматы сообщений в 1553В*

Все сообщения, передаваемые в сети, имеют длину **20 бит** и разделяются на три типа: командное слово, данные, ответное слово. В каждом двадцатибитном слове сообщений первые три бита – синхросигнал для вхождения в связь, а последний двадцатый бит – бит четности, для контроля целостности информации. **Оставшиеся 16 бит слова данных это - данные**. В ответном слове содержится информация об ОУ – его адресе, состоянии, наличии запроса на обслуживание.

В командном слове закодирован адрес ОУ, к которому обращается контроллер и команда, с которой контроллер обращается к ОУ. Команды могут быть нескольких типов:

передача информации ОУ,

получение (запрос)информации с ОУ,

команда для ОУ без информации(например, дай ответное слово)и т.п.

Длительность передачи любого слова на частоте 1 МГГЦ **составляет 20 мксек**.

Кратко рассмотрим формат трех типов сообщений. Всего в стандарте их шесть.

Формат 1 – передача данных от контроллера к ОУ

…

**Слово данных**

**Следующее командное слово**

**Ответное слово от ОУ**

**Слово данных**

**Командное слово «передать »**

t2

4÷12мксек t1`

Формат 2 – передача данных от ОУ в контроллер

**Командное слово**

**«получить»**

**Слово данных**

**Следующее командное слово**

**Слово данных**

**Ответное слово от ОУ**

…

…..

t2

4÷12мксек t1`

Формат 4 – передача команды управления без данных от контроллера в ОУ

**Командное слово**

**«выполнить»**

**Ответное слово от ОУ**

**Следующее командное слово**

t2

4÷12

t1

Кроме этих форматов существует формат группового сообщения, формат передачи данных от ОУ к ОУ, но только по команде котроллера и т.п.

Пауза t2 формируется ОУ после полученного сообщения и должна быть **4-12 мксек.** Отсутствие ответного слова через t2>12 мксек воспринимается контроллером как неполучение ОУ направленного ему сообщения.

**Пауза t1 формируется контроллером и определяется временем работы его ПО, но она не может быть менее 4мксек.**

Максимально число слов данных в сообщении равно 32.

Максимальное число ОУ на линии – 31 + с учетом адреса контроллера, так как общее число адресов устройств интерфейса в сети = 32. Среди команд управления, число которых в стандарте задано 15 (остальные - резервные), имеется команда к ОУ «дай ответное слово».

Если ОУ хочет по собственной инициативе начать передачу, то он этого сделать не может, но у него есть единственная возможность обратить на себя внимание контроллера и в конце концов передать имеющееся у него сообщение. **Для этого ОУ в своем ответном слове на команду «дай ответное слово» или любую другую команду в 11 позиции ответного слова должен установить в 1 – бит флага «запрос на обслуживание».**

Получив в ответном слове эту информацию, контроллер по собственной логике, заложенной в его ПО может запросить информацию с ОУ командой запроса данных (формат 2). Только после этого ОУ сможет передать свою инфорпмацию. Таким образом, ОУ могут проявлять контролируемую инициативу по передаче данных в линию. Забота о периодическом опросе флагов ОУ «запрос на обслуживание» лежит на контроллере, точнее на его ПО прикладного уровня, реализующем логику управления сетью.

Таким образом, передача из контроллера сообщения на 3 различных ОУ из двух слов данных на каждый займёт время

3(КС+12 мксек.+2СД+ ОС+ t1 )= 288 мксек.

Запрос данных с двух ОУ по 4слова данных с каждого займет время

2( КС +12мксек. +4СД+ОС+ t1 )=272 мксек.

Выдача команды (КС) на 5 ОУ займет время

5(КС+12мксек+ОС+ t1 )=280 мксек.

Здесь КС, СД, ОС – времена передачи соответственно командного слова, слова данных, ответного слова, равные по 20 мксек.

Данные времена передачи данных применительно к мехатронной СТС являются достаточно малыми ( период повторения решения задач~О,1 сек), т.е. сеть не вносит принципиального запаздывания в систему управления СТС.

*Защита информации в сети MILSTD1553B*

Разряд контроля четности во всех типах сообщений формируется таким образом, чтобы сумма всех 17 разрядов, несущих информацию, включая разряд контроля четности, была нечетной. Такой простой способ связан с тем, что он охватывает каждые 20 бит - очень короткие сообщения. На таких коротких сообщениях и на 1 МГц вероятность двойных и тройных сбоев очень мала.

ОУ, контроллер и сама линия передачи информации дублированы – имеется канал А и канал В.

В каждый момент времени работает только один канал А или В. Переход на резервный канал осуществляется автоматически по логике, заложенной в ПО пользователя для контроллера, то есть на прикладном уровне. Возможны ситуации когда с одним ОУ ведется общение по каналу А, а с другим по каналу В.

Имеется защита от органического недостатка шинной топологии возможности атаки на доступность путем генерации в линию непрерывных сигналов одним из абонентов вследствии отказа или по злому умыслу. Для этого в контроллере предусмотрена специальная команда блокировки генерящего. Если генерящий ОУ в канале А, то эта команда выдается по В, если генерящий в В, то команда выдается по А. Это стало возможным потому, что дублирование производится не пользователем, а является неотъемлемым свойством сети.

Кроме резервирования дублированием, наличия информационной обратной связи через ответное слово ОУ, наличия логического контроля правильности передачи по биту четности и содержимому контрольных битов в ответном слове, имеется также аппаратный контроль формы импульсов в среде передачи. Кроме того, сам фазоманипулированный код Манчестер II обладает повышенной поме­хозащищенностью.

Таким образом, в стандарте MILSTD1553B реализованы беспрецедентные меры по защите передаваемой в сети информации.

Описанная логика работы сети реализуется в наборе микросхем, имеющихся на рынке. Известный производитель - фирма DDC. Имеются отечественные про­изводители плат, реализующих интерфейс M1LSTD1553B, которые могут быть подключены к ПК и другим ЦВМ.

# *CAN-контроллерная местная сеть (Controller Area Network).*

CAN(Controller area network) - название последовательного интерфейса, который был разработан компанией BOSCH - ведущим поставщиком автоэлек­троники, в начале 90х годов, первоначально для использования в ав­томобильных приложениях. Сегодня на рынке можно найти несколько версий протокола и более сотни реализаций протоколов CAN в виде отдельных микросхем или интерфейсов, интегрированных в оборудование, оснащенное мик­роконтроллерами. Настоящая лекция построена применительно к версии САN 2.0а.

Ныне CAN рассматривается как стандартный последовательный интерфейс - стандартная контроллерная сеть для распределенных систем управления в различных отраслях техники, в том числе в ав­томобильной, аэрокосмической, медицинской отраслях, а также в роботизированных промышленных установках.

Массовое производство компонентов CAN для автомобилей десятками известных производителей тиражами в десятки миллионов штук ежегодно сделала тех­нологию достаточно дешевой.

В качестве международного стандарта протокол CAN был при­знан в 1993г - ISO 11898.

Протокол отличается надежностью передачи, помехоустойчивостью и обладает следую­щими возможностями:

* Распределенный доступ абонентов в сеть с **неразрушающим арбитражем,**
* Обнаружение ошибочных ситуаций при передаче, когда ни один абонент правильного сообщения не принял, и информирование пере­датчика о них,
* Возможность подключения в сеть дополнительных абонентов без уточнения ПО существующих, **из-за оригинальной системы адресации сообщений.**
* Одно и тоже сообщение по CAN **может быть принято несколькими абонентами** ,настроенными на прием данного типа сообщений.
* Количество узлов на шине не ограничено логически, так как нет почтового адреса у абонента (ограничения только по электрической нагрузке).

Протокол CAN обеспечивает пользователю два коммуникацион­ных сервиса: посылку сообщений (передача кадра данных) и за­прос сообщения (удаленный запрос на передачу или remote transmission request , RTR).

Другие сервисы: сообщения об ошибках, повтор передачи после обнаружения ошибки и т.п. является для поль­зователя прозрачным, т.е. микросхемы CAN выполняют эти действия автоматически. В отличие от MILSTD1553В, где эти функции выполня­ются ПО прикладного уровня.

В CAN четко просматривается физиче­ский и канальный уровни семиуровневой OSI. Верхние уровни OSI объединены и программируются пользователем.

*Физический уровень сети CAN*

Топология сети CAN - шина. Подключение абонентов к линии передачи без шлейфов. Обычно физический уровень реализуется в виде трех проводов. Два сигнальных - экранированная витая пара, и один общий. Возможно использование неэкранированных параллельных проводов, однако при этом вероятность искажения сообщений повыша­ется в 50 раз.

Скорость передачи информации до 1 Мбит/с, при дли­не линии 50 - 60 м. С увеличением длины линии допустимая скорость передачи падает. При длине линии 1000 метров скорость передачи 50 - 60 кбит/с поэтому CAN допускает программирование скорости обмена от 10 кбит/с до 1 Мбит/с. Возможна реализация физического уровня на оптоволокне, в радиоканале, в ИК канале. Синхронизация приемника и передатчика обеспечивается при NRZ кодировании небольшой длиной сообщений, перемежаемых периодически синхорсигналами.

*Формат кадров в сети CAN*

Обмен информацией между узлами осуществляется кадрами переменного размера до 108 бит. При этом кадр начинается стар­товым битом и идентификатором в 11 бит, длина поля данных может варьироваться от 0 до 8 байт. Сегмент контрольной суммы CRS за­нимает 15 бит.

Обращает на себя внимание само поле данных - не более 8 байт. Это обеспечивает малое время задержки при пере­даче (сообщение короткое) с одной стороны, а с другой стороны является достаточным для тех задач управления, которые решает сеть CAN. При необходимо­сти передать по CAN длинного сообщения оно может быть фрагментировано на несколь­ко коротких до 64 бит.

0-64 бит поля данных

Бит RTR 6 бит поля управления 3 бит поля подтверждения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | … | ... |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Стартовый бит 15 бит поле CRS

11 бит идентификатора 7 бит поле конца кадра

*Распределенный доступ абонентов в сети CAN. Арбитраж при возникновении столкновений сообщений*

В отличии от сети MILSTD1553B, сеть CAN имеет не централизо­ванный, а распределенный доступ абонентов на шину, т.е. передача может быть инициирована любым узлом сети CAN при условии обнаружения им сво­бодной шины. Поэтому после мониторинга шины передача может быть начата одновременно несколькими узлами сети, т.е. возможно возникновение столкновении сообщений - коллизий (как в Ethernet).

Каждый на­чавший передачу узел осуществляет мониторинг поля идентифика­тора и бита RTR, находящиеся в заголовке кадра, - поля арбитража. Идентификатор типа сообщения определяет одновременно его приоритет. Разрешение коллизий в сети осуществляется на базе трех основных положений.

1. Идентификатор типа сообщения передается в последовательности от старшего бита к младшему. **Доминирующим уровнем сигнала в сети принят логический 0. Одновременная пе­редача по сети (столкновение) бита с доминирующим уровнем (лог.0) и рецессивным уровнем (лог.1) даетв результате уровень логического нуля т. е. логический 0 всегда побеждает. Столкновение бит одинакового логического уровня дает в результате сигнал на шине того же логического уровня.**

2. **Код идентификатора типа сообщения несет в себе информацию о приоритете сообщения. Чем меньше номер идентификатора сообщения т. е. больше нулей в старших битах идентификатора, тем более приоритетным является тип сообщения.**

3. В процессе передачи «поля арбитража» - идентификатора + RTR каждый передатчик, ведущий передачу, проверяет текущий логический уровень на шине и сравнивает его с тем значением уровня, который он только что от­правил в шину и который он запоминает.

Как только одним из передающих узлов будет обна­ружено, что он передал лог.1 ,а на шине этот бит превратился в лог.0, он поймет, что его «перешибло» более приоритетное сообщение и ему надо уступать – сразу же прекращать свою передачу, так как его сооб­щение во первых исказилось и во вторых имеет меньший приоритет из двух сообщений, столкнувшихся на ЛПИ.

**При этом узел, ведущий передачу более приоритетного сообщения, передачу не прекращает – ведь его сообщение не исказилось и доводит ее до конца. Именно поэтому такой метод арбитража мы назвали неразрушающим**. В отличие от Ethernet ,где тоже распределенный доступ, но при столкновении сообщений оба передающих узла прекращают передачу ,так как оба сообщения искажаются. После этого проводится процедура «расшаркивания» и повторения попытки передачи. Все это снижает производительность сети Ethernet,

Таким образом, арбитраж при выходе на шину осуществ­ляется не по приоритету передающего узла, а по приоритету пере­дающегося сообщения, который заключен в его идентификаторе.

Рассмотрим коллизию узла1 и узла 2.

Узел 1 0 1 0 1 1 0 1 1 **0** 1 0 0 Это идентификатор+RTR

Узел 2 0 1 0 1 1 0 1 1 **1 . . .** Узел 2 прекратил передачу

На линии 0 1 0 1 1 0 1 1 **0** 1 0 0 Узел1 передает до конца

Таким образом, приоритетным в сети при столкновениях сообщений является сообщение с наименьшим номером. **Чем больше нулей в старших разрядах иден­тификатора, тем выше приоритет сообщения.**

После освобождения шины попытка передачи менее приори­тетного сообщения может быть повторена.

*Обеспечение надежности передачи в сети CAN*

В отличие от многих других коммуникационных технологий, ис­пользующих принцип подтверждения (квитирования) факта получе­ния узлом адресованного ему сообщения за требуемый интервал времени, в стандарте CAN подтверждения получения сообщения индивидуально каждым узлом отсутствуют, и передатчику сообщается :

появление кадра с ошиб­кой передачи, причем специальным сообщением об ошибке

факт, что хотя бы один узел сообщение при­нял.

Для этого используется упомянутый кадр сообщения об ошибке, а также бит подтверждения ( в ASK поле) принятия сообщения. ASK поле - поле подтверждения передачи работает следующим образом. Передающий узел **всегда посылает в этом поле рецессивный бит** - логическую 1. Ес­ли приемник принял сообщение правильное (подтверждается кон­трольной суммой), то он успевает в рамках этой передачи сразу установить в это поле бит доминирующего уровня - логический 0, который по определению «перешибает» рецессивный уровень.

**Передатчик читает значение этого бита прямо на линии в процессе передачи и понимает, что в случае наличия доминирующего бита (логического 0) в этом поле, хотя бы один узел принял сообщение правильно.**

При этом возможно, что все узлы, настроенные на данный идентификатор сообщения, приняли его правильно ,возможно ,что не все. Передатчик этого по данному виду контроля не распознает. Но если хотя бы один принял правильно , то передатчик считает , что он сообщение передал и далее у него проблем нет, а проблемы у того, кто не смог принять сообщение , и «успокаивается».

Таким образом, «философия» линии более «эгоистична», чем , например ,в 1553 В.

Получив информацию об ошибке, передающий узел повторяет передачу исходного сообщения.

Необходимость резервирования элементов и ЛПИ определяется разработчиком сети и осуществляется, при необходимости, вне рамок протокола CAN.

*Адресация сообщений* в *CAN*

В протоколе CAN отсутствует прямая адресация сообщений по уникальному адресу абонента.

Имеется идентификатор сообщения, который определяет при­оритет и тип информации сообщения. При передаче сообщение получают все абоненты и проверяют тип сообщения. Абонент берет в обработку только тот тип сообщения, идентификатор которого «зашит» у него в памяти. Каждый абонент может обрабатывать до 15ти типов сообщений.

Таким образом, **в CAN имеется возможность одновременной передачи сообщений нескольким абонентам, в том числе синхро­сигналов для всех.**

Кроме того новые узлы, добавленные в сеть, не меняют ПО существующих узлов, если они являются потребителями или производи­телями имеющихся в сети типов сообщений.

**Вопросы для повторения**

*Сложные технические системы*

*Задачи, вызвавшие появление вычислительных сетей.*

*Cети ЦВМ – системообразующий элемент при управлении СТС*

*Схема процесса коммуникации и основные понятия сетевых технологий управления*

*Разделяемая среда передачи*

*Классификация компьютерных сетей.*  *Глобальные и локальные сети.*

*Особенности ЛВС управления СТС*

*Структура пакетов ЛВС*

*Контроль целостности - Обнаружение ошибок при передаче данных. Циклический избыточный контроль CRC (Cyclic Redundancy Check).  
Стандартизация и структуризация телекоммуникационных процессов. Модель OSI.*

*Дуплексная и полудуплексная передача информации в ЛВС*

*Топология вычислительных сетей.*

Топология шина и безопасность сети

*Анализаторы протоколов сети*

*Кодирование бит информации. данных. Код NRZ*

*Проблема синхронизации передатчика и приемника*

*Самосинхронизирующиеся коды. Код RZ. Манчестерский код.*

*Физический уровень сети MILSTD 1553B*

*Централизованный метод доступа абонентов в сеть MILSTD1553B*

*Типы и форматы сообщений в 1553В*

*Защита информации в сети MILSTD1553B*

*CAN-контроллерная местная сеть (Controller Area Network).*

*Физический уровень сети CAN*

*Формат кадров в сети CAN*

*Распределенный доступ абонентов в сети CAN. Арбитраж при возникновении столкновений сообщений*

*Адресация сообщений* в *CAN*

*Обеспечение надежности передачи в сети CAN*

**Лекция 12. Реализация управления СТС. Архитектура системы и ПО управления СТС реализующая сложное поведение СТС.**

*Иерархическое структурирование ПО средство обеспечение сложного управления*

Рассмотренные положения управления являются скорее теоретическими и относятся к системам управления, которые можно назвать простыми, для которых имеется один контур управления и одна или несколько управляемых координат. Конечно требуется рассмотрение примеров СТС, на которых можно показать методы реализации управления СТС на практике. На этих примерах также будет показана определяющая роль компьютерного управления и ПО компьютеров , встроенных в систему управления, реализующих сложность поведения СТС. СТС совсем не обязательно связана с управлением ракетой спутником или самолетом

Рассмотрим простой пример - СТС, например, стиральную машину, работа которой всем понятна. Управление работой этой системы осуществим от встроенной ЦВМ. Стиральная машина многорежимна и обладает всеми признаками сложного поведения и по нашей классификации является СТС.

Проведем черту, ниже которой последовательно запишем наименования оборудования, которое должно управляться от ЦВМ. Сразу над чертой запишем задачи по управлению каждой единицей оборудования. Каждой из этих задач в ЦВМ соответствует программа ПО. выполняющая только данную элементарную задачу. Например, программа, которая умеет включать и выключать двигатель на заданную угловую скорость вращения или программа, умеющая открывать и закрывать клапан холодной воды, конечно, когда ее об этом «попросят» – передадут на нее управление. Кто же это сделает? Это должна сделать специальная программа ,обеспечивающая последовательное в нужном для проведении стирки порядке включение аппаратуры стиральной машины .

Программы комплексного функционирования

Управление циклом выполнения заданного режима стирки 

Интерфейс Управление Управление Управление Контроль Измерение измерение

температуры

пользователя клапаном клапаном двигателем безопасности уровня

хол.воды слива воды

---------------------------------------- ----//---------------------

Клавиши Клапан хол. Клапан и на Двигатель Устройства Датчик датчик

температуры

и экран воды сос слива воды безопасности ур овня

Эта специальная программа работает не напрямую с аппаратурой, а через рассмотренные нами программы, решающие задачи элементарного управления оборудованием, запуская их в определенном порядке. Совокупность рассмотренных программ позволяет реализовать сложное и безопасное управление.

Таким образом, ПО управления стиральной машины **предстает в виде двухуровневой иерархической структуры. Именно такое представление позволяет реализовать сложное поведение СТС**

Программа «управление циклом выполнения заданного режима стирки» имеет задачу реализации заданной последовательности работы устройств стиральной машины (в необходимых случаях параллельной работы) при выполнении выбранного оператором режима стирки.

Таких программ, которые мы назвали ПКФ, должно быть столько сколько режимов стирки имеется у машины. Программа реализует эту последовательность путем обращения и инициализации по определенной временной диаграмме программ нижнего уровня, управляющих работой отдельных устройств машины

Далее приведен более сложный пример управления подсистемами спутника. Рассмотренный принцип естественного формирования структуры ПО для управления СТС справедлив и здесь. Отличия - в масштабе системы, сложности алгоритмов управления и потребных ресурсах ЦВМ. Другое отличие связано с автоматическим выбором необходимой ПКФ программами ПО планирования работы спутника по информации, переданной с земли. Это образует еще один уровень иерархии ПО. Тогда как в стиральной машине выбор режима – ПКФ осуществляется напрямую оператором.

Предусмотрение возможности изменений это принцип, который отличает ПО от других видов промышленных продуктов, так как в большинстве случаев ПО разрабатывается в обстоятельствах, когда требования к нему недостаточно определены. Они уточняются по мере продвижения разработки системы и ПО для неё. Но способность ПО к развитию не возникает сама собой и не является следствием удачного стечения обстоятельств. Она требует определенных умственных усилий, чтобы определить где и каким образом потребуется необходимость изменений, требует определенной стратегии структуризации ПО. В основном изменения должны быть изолированы в особых частях ПО и не затрагивать остальные части при их проведении.

**В данных структурных схемах ПКФ тот самый элемент структурной схемы, который должен аккумулировать в себе все функциональные изменения при развитии системы и ПО.**

*Функциональные задачи и декомпозиция СТС на подсистемы*

Рассмотрим функциональные задачи для сложной технической системы - спутника, которые решаются последовательно путем включения в работу того или иного набора бортовых систем:

- После отделения от ракеты-носителя спутнику необходимо погасить угловые возмущения, возникшие вследствие работы механизмов отделения спутника и перейти в ориентированное антеннами на Землю угловое положение и поддерживать его в течении полета. Для этого нужны датчики, позволяющие обнаружить и «захватить» землю или солнце;

- Проводить сеансы связи по целевому назначению при нахождении в зоне радиовидимости наземного пункта приема - передачи. При этом спутник должен быть ориентирован осью остро направленных антенн на землю, а точнее на наземные пункты приема и передачи информации и включать радиолинию строго в момент вхождения в зону радиовидимости.

- В заданное время провести коррекцию орбиты путем включения бортовой двигательной установки на точно рассчитанное время при строгой ориетации вектора силы тяги двигателя для поддержания требуемых параметров орбиты, которые непрерывно меняются под действием возмущений, действующих на спутник в полете;

- В процессе орбитального полета многократно решать целевую задачу спутника путем управления в необходимые моменты времени включениями целевой аппаратуры и соответствующим управлением угловым движением с наведением целевой аппаратуры наблюдения (оси спутника) на цель наблюдения на земной поверхности с заданными координатами.

-Управление спутником в случае возникновения нештатных ситуаций – решение задачи безопасности, что связано с необходимостью переключения соответствующей БА на резерв, с возможным восстановлением впоследствии утраченного ориентированного состояния ( см. первую задачу и т. п.

Можно сказать, что этим функциональным задачам соответствуют «варианты использования» спутника или режимы его работы.

Сеч 1 Сеч 2

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

СОИС ============================================ }A1,A2,A3

**ЗАП ЗАП ЗАП ВОС, НП ЗАП ЗАП ЗАП**

СТК **–– –– –– –– –– ––А4**

КРЛ А5

САН **–– –– –– –– А6**

#### Определение

и прогноз

параметров

движения для

расчета се- А7 **А7**

ансов связи

Целевая аппа**- \_\_\_\_\_ \_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_ \_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_А8**

ратура

СЭС (управ. **–– ––– –– ––– А9**

ПСБ)

Управл.КДУ А10

Управление \_\_ **\_\_ \_\_ \_\_ \_\_\_ \_\_\_ \_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_ \_ А11**

угл. движ.

ППТ

t

сеанс Включение

связи КДУ для коррек-

с НКУ ции орбиты

На данном рисунке применены следующие сокращения:

КДУ - корректирующая двигательная установка для управления движением центра масс;

КРЛ – командная радиолиния связи «борт-земля»;

САН – система автономной навигации;

СОИС – система ориентации и стабилизации,

СТК – система телеконтроля

Сечение 1: А1,А2,А3,А4, А7,А11.

Сечение 2: А1,А2,А3,А4,А5,А6,А7,а8,А9,А11 и т.п.

При декомпозиции спутника можно выделить ряд подсистем, выполняющих определенные функции во всех перечисленных функциональных задачах:

- система угловой ориентации продольной оси антенны ( оси спутника) на Землю и управления угловым движением спутника по трем каналам;

- система навигации для определения параметров орбиты спутника и точного его положения на ней (автономно или через Землю), что необходимо для вхождения с ним в связь в течение сеанса связи и для управления включениями целевой аппаратуры над заданной целью;

- радиоканал управления для связи с наземным комплексом управления, обеспечивающий управление спутником со стороны Земли – передачу на борт информации и команд управления;

- радиоканал передачи полученной на бору спутника информации на пункт приема на земле,

- корректирующая двигательная установка (КДУ) для изменения параметров орбиты;

- система телеконтроля для сбора и передачи на Землю контрольной информации со спутника;

- система энергоснабжения бортовой аппаратуры;

- система терморегулирования состояния внутренней среды для обеспечения условий работы бортовой аппаратуры (БА).

Перечисленные системы параллельно работают во всех задачах – вариантах использования или режимах работы спутника, но работают они, различным образом взаимодействуя в каждой функциональной задаче, реализуя ту сложность поведения о которой мы говорили, определяя СТС.

Временная диаграмма работы сложной системы как средство её проектирования, позволяет в наглядной форме рассмотреть сразу все параллельные физические процессы и определить наиболее нагруженные временные «сечения» и количество подсистем, работающих в «сечениях». Такая диаграмма является основой для выбора принципов организации многозадачной параллельной работы ПО, как говорят, вычислительного процесса в БЦВМ и следовательно позволяет выбрать операционную систему реального времени.

Выше рассмотрена подобная укрупненная временная диаграмма работы бортового контура управления спутника на одном из витков (периодов) орбитального движения. На данном витке осуществляется включение бортового двигателя для изменения параметров орбиты и проводится сеанс связи с наземным пунктом управления.

Можно рассмотреть несколько временных «сечений». Им соответствуют вертикальные линии нашей диаграмме.

Каждому «сечению» временной диаграммы соответствует свой набор задач ПО.

Можно выделить пограничные «сечения», при переходе через которые набор задач меняется.

*Структура ПО управления СТС*

Поставим в соответствие каждой подсистеме СТС программное обеспечение ЦВМ или сети ЦВМ, управляющей СТС. Это программное обеспечение обслуживает работу только своей подсистемы, решая набор задач по её управлению. При этом все подсистемы СТС представлены в памяти БЦВМ (одной или сети ЦВМ), своей программной частью, а БЦВМ управляет работой каждой подсистемы и своими устройствами ввода-вывода связана со всей аппаратурой систем спутника. Поэтому взаимодействие подсистем КА, передача информации между подсистемами и взаимосвязанного управление ими путем инициализации работы подсистем в требуемые рамоменты времени **может быть обеспечено на программном уровне.**

Для этой цели целесообразно создать специальные программы ПО - программы комплексного функционирования (ПКФ), обеспечивающие выполнение перечисленных функциональных задач спутника.

Этим функциональным задачам соответствуют «варианты использования» спутника.

При этом ПКФ выполняют функции супервизора функциональной задачи. Каждой функциональной задаче соответствует свой супервизор – ПКФ.

В системе управления также должен быть элемент, знающий какая задача комплексного функционирования должна решаться в данный момент и обеспечивающий её исполнение. Поскольку решение функциональной задачи обеспечивается вызовом на исполнение соответствующей программы комплексного функционирования, то управление включением последовательности выполнения функциональных задач СТС-ПКФ как по информации наземного комплекса управления (НКУ), так и по информации, выработанной в БКУ, необходимо сосредоточить в других специальных программах бортового ПО - планирующих программах.

В общем случае такая иерархическая трехуровневая структура ПО не зависит от назначения ПО сложной системы и связана с частотным разделением процессов управления на долгосрочное планирование, диспетчерское оперативное управление и исполнение рабочих функций.

Таким образом декомпозиция систем СС порождает представление комплекса бортового ПО в виде трехуровневой иерархической структуры.

Нами рассмотрен этап общесистемного проектирования ПО, на котором определяются задачи ПО и определяется структура ПО, отражающая состав решаемых функциональных задач.

#### Необходимо подчеркнуть, что структура ПО отражает схему управления – «кто кого включает», но в общем случае не определяет последовательность работы структурных единиц ПО во времени («когда включает»). В сложной технической системе параллельно во времени протекают несколько физических процессов управления. Например, в летательном аппарате необходимо управлять ориентацией трех его осей в пространстве, управлять режимами двигателя и т.п. Если в системе управления имеется встроенная ЦВМ, то этим параллельным физическим процессом управления соответствуют параллельно работающие программы ПО или их более мелкие фрагменты.

#### Эти программы могут отражаться на структурной схеме ПО, однако, когда какой физический процесс начинается и когда заканчивается, какие процессы исполняются параллельно, как физические процессы взаимодействуют во времени из структурной схемы не видно.

*Организация взаимосвязанного во времени работы ПО СТС по пограничным сечениям временной диаграммы.*

Решение заданного набора задач можно провести, составив при проектировании ПО для каждого временного сечения временной диаграммы пакет соответствующих задач. Каждой задаче из данного пакета выделяется свой квант времени на её решение. Сумма всех квантов времени на решение всех задач пакета должна быть равна или меньше периода повторения решения задач пакета. Но с течением времени при переходе через «пограничное сечение» набор задач изменится, то есть должен быть **запущен другой пакет задач**.

Таким образом, последовательно запуская пакеты, привязанные к граничным сечениям, при помощи программы комплексного функционирования– супервизора можно исполнить все параллельные процессы на всем интервале работы СТС.

Этот подход трудоемок и при нем относительно трудно реализуются изменения в ПО (фрагмент изменяемой задачи, нужно править во всех сечениях-пакетах, где она работает).

*Параллельное исполнение процессов в ПО управления СТС*

Из рассмотрения временной диаграммы работы СТС и её ПО следует, что возможен другой способ реализации управления исполнения задач ПО в рамках этой же временной диаграммы.

Можно представить работу ПО, как набор параллельно работающих программ или набор параллельно исполняемых процессов под управлением многозадачной ОС реального времени.

Термин мультипрограммный режим работы ПО или многозадачный режим работы предполагает, что ОС организует параллельное выполнение нескольких физических процессов на одном процессоре. Термин многозадачный режим работы ПО применяется для тех случаев ,когда надо обеспечить не только исполнение параллельных физических процессов, но и взаимодействие между параллельными физическими процессами и их синхронизацию, что делается специальными механизмами ОС. При этом возможна ситуация , когда ОС разделяет только процессорное время , а о разделении других ресурсов , например, памяти должен позаботиться разработчик ПО.

Потоки ,ассоциируемые с такими задачами ,являются «облегченными процессами» и реализуют внутренний параллелизм процессов. Представление работы системы в виде связанных между собой процессов позволяет легче проводить масштабирование системы (добавлять и убавлять процессы). В этом смысле такое представление также является более открытым для изменений.

**Лекция 13. Параллельные физические процессы управления и многозадачная работа ПО управления СТС**

*Многозадачная работа ПО СТС. Причины многозадачности.*

В сложных системах одновременно протекают несколько физических процессов управления – должны решаться несколько задач ПО.

Программное обеспечение сложных технических систем выполняется в виде набора задач, разработанных коллективно и объединенных в программный комплекс. Это делается и по следующим причинам.

1. Наличие многофункциональности СТС с множеством параллельных процессов управления и соответственно подсистем. При этом целесообразно по возможности для решения различных функций использовать один и тот же набор подсистем и ПО в различных сочетаниях.

2.Отсутствия специалистов одинаково грамотно разбирающихся в разнородных предметных областях, соответствующих подсистемам сложной системы, то есть имеется естественная техническая и организационная специализация разработчиков системы - разработчиков ПО. При этом для обеспечения сроков работ по разработке ПО (для сокращения времени его создания) требуется подключение нескольких разработчиков, а не создание некоего суперразработчика. ПО даже если он и освоит все предметные области - делать ПО он будет очень долго.

Поэтому каждый из разработчиков независимо от других разработчиков разрабатывает программы в рамках своей предметной компетенции. Организационно правильным в данной ситуации – компиляция данных порозень разработанных частей ПО также должна быть независимой и раздельной.

3. Еще один источник многозадачности связан с необходимостью работы ряда задач в реальном времени. Программирование задач реального времени отличается от чисто последовательного программирования тем, что внешние сигналы или события могут возникать в случайные моменты времени и требуют программного обслуживания **на фоне уже решаемых задач**. Время реакции на эти события должно удовлетворять заданным ограничениям.

Если системная ЦВМ однопроцессорная (и одноядерная), то мультипрограммная работа осуществляется путем поочередного переключения по определенным правилам задач - разделения времени процессора между задачами. При этом производительность процессора ЦВМ должна быть настолько высокой, чтобы все задачи решались в РМВ. Тогда каждая задача- процесс, как бы не "чувствует" наличие других процессов - они ей не мешают

В многопроцессорных и многоядерных вычислительных системах возможна истинная параллельная работа процессоров или ЦВМ - истинное параллельное решение задач.

При этом в обоих случаях возникают дополнительные затраты процессорного времени. В случае однопроцессорной ЦВМ - это затраты на переключение между задачами и ожидания для синхронизации, в случае многопроцессорной или многомашинной вычислительной системы - это затраты на синхронизацию процессов и обмен данными между процессами в различных процессорах.

*Задачи и процессы. Контекст процесса. «Упрятывание» контекста при прерываниях*

Физический процесс - упорядоченная последовательность действий в системе над информацией, энергией или материей, приводящая к требуемому результату. Применительно к ПО ЦВМ физический процесс (задача) может реализовываться работой одной или некоторой совокупностью структурных единиц ПО – программ.

Многозадачность поддерживается ОС. Реализация многозадачности может быть различной в различных ОС. Однако, в настоящее время сформировался некоторый единообразный подход, связанный с определением «процессов и потоков». В деталях эти понятия могут для различных ОС несколько различаться, но принципиально для авторитетных ОС эти понятия одинаковы.

Процесс это контейнер, содержащий память, ресурсы, открытые файлы и **потоки.** При этом в процессоре исполняется порожденный процессом поток или потоки.

Распределяя ресурсы ЦВМ между процессами, ОС обеспечивает и поддерживает изоляцию между ними, чтобы уберечь задачи от неожиданного и несанкционированного взаимодействия. В частности, процессы снабжаются отдельными виртуальными адресными пространствами, чтобы избежать наложений по памяти.

Однако, в процессах в свою очередь может иметься необходимость в распараллеливании вычислений с тесными связями между отдельными их потоками. Такие параллельные потоки из всех разделяемых ресурсов ЦВМ требуют только разделения времени процессора. Многопоточная обработка является видом многозадачной обработки без защиты задач друг от друга при использовании памяти.

Каждый процесс имеет отображение в системной ЦВМ и в любой момент времени находится в точно определенном состоянии, однозначно описываемом содержимом регистров ЦВМ, содержимым областей памяти ЦВМ, счетчиком команд, счетчиком времени и т. п.

Эта базовая информация о исполняемом процессе называется **контекстом.** При исполнении одной из задач в процессоре ее контекст всегда можно «заморозить» (запомнить при необходимости в специальной зоне памяти либо в стеке) и приступить к решению другой задачи. При этом сохраненный контекст первой задачи позволяет завершить ее в будущем.

**Понятие контекста широко используется при прерывания процесса более приоритетным процессом, обслуживающим пришедшее прерывание. После завершения обслуживания прерывания благодаря сохраненному контексту прерванная задача будет завершена.**

Заметим, что переменные процесса сохраняются в выделенной для них зоне памяти в тех случаях, когда ОС обеспечивает защиту этой памяти от доступа к ней данных других процессов. В этом случае их дополнительно защищать упрятыванием не надо и они не входят в контекст.

. В набор команд процессора спроектированного для многозадачной работы входят специальные инструкции для быстрого аппаратного упрятывания и восстановления контекста . Время переключения процессов – важнейший показатель качества ОС и в этом вопросе процессоры их должны поддерживать. По времени переключения процессов лидирует ОС QNX.

**Существование контекста это общее свойство процессов, а то какие структуры, содержимое каких регистров, конкретно являются частью контекста зависит от конкретной ОС и от используемого процессора.**

Потоки используют общую память, породивших их процесса.

*Обмен информацией между и взаимодействующими процессами*

Связь между задачами – характерная часть физических процессов и ПО систем управления. Она используется для того, чтобы данные, сформированные в одной задаче были доступны другим задачам, а также для синхронизации работы задач.

При этом разработчик ПО может выбрать запуск всех задач в едином процессе ПО, но назначить каждой задаче отдельный, параллельно выполняемый поток в пределах этого процесса. В этом случае передача данных между потоками будет происходить в едином адресном пространстве породившего их процесса с использованием обычного синтаксиса языка программирования.

Однако, такая работа ПО не обеспечивает надежность взаимодействия по данным из за ненадежной синхронизации и ошибок в использовании памяти.

Надо использовать процессы как более надежное решение. В централизованной системе ПО обмен данными между процессами все равно должен проводиться через общую память.

При этом надо преодолеть изоляцию памяти процессов, к которой мы стремились с точки зрения безопасности работы ПО и которую обеспечивает ОС. **С точки зрения защиты ПО ОС обеспечивают изоляцию «всех от всех». Пользователей друг от друга, пользователей от программ, программы и процессы друг от друга, программы от аппаратуры ЦВМ.**

ОС каждому процессу выделяет свою память. Поэтому для этого в ОС, например в WIN существуют системные вызовы, которые записываются в код программы .

Эти вызовы в конечном итоге р**езервируют специальные зоны памяти межпроцессного обмена, известные обоим участникам обмена информацией.** Методов межпроцессного взаимодействия, например, в WIN описано более 10. При этом, если сетевой обмен не предполагается (не предполагается взаимодействие процессов ,исполняемых в разных ЦВМ), то обмен упрощается. В других ОС наблюдается примерно та же картина. Различные методы межпроцессного обмена отличаются друг от друга разным временем обмена . Самый быстрое межпроцессное взаимодействие, когда один процесс создает специальным системным вызовом ОС сегмент разделяемой памяти. После отображения разделяемой памяти в адресные пространства обоих процессов они взаимодействуют через неё дальше уже без участия ОС. Самое медленное – организация «почтового ящика» через файловую систему.

С целью повышения изоляции программ (задач) для защиты их от ошибок других программ необходимо использовать для них различные процессы при этом взаимодействие между задачами осложняется и требуются специальные системные вызовы ОС, для которых и время исполнения больше. Но, если предвидится возможность добавлять или убавлять задачи при разработке и эксплуатации СТС, то лучше ПО делать в многопроцессном варианте, чем в многопоточном.

*Качество ПО и технология его производства. Влияние человеческого фактора.*

Характеристик качества ПО придумано много, но не все они универсальны и применимы для любого ПО и не все они имеют численную меру. Иногда эти меры сложны в определении и измерении.

Технология разработки

Качество ПО

Качество работ, выполняемых людьми

График работ и выделенные ресурсы

Изучение опыта создания ПО различного назначения и масштаба во многих странах показало, во первых ,наличие значительного числа провалов в этом вопросе и, во вторых , что разработка ПО **должна проводится не по интуиции или вдохновению т. е. быть не искусством , а достаточно формализованным процессом, который можно изучать, воспроизводить и управление которым можно совершенствовать.**

На качество ПО влияет технология его разработки. Технология- это совокупность методов, правил, приемов, инструментально-технологических средств, ведущих к созданию программного продукта. Для очень больших программных систем технология разработки оказывает определяющее влияние на качество ПО. Успех такой разработки определяется прежде всего не алгоритмическими находками, а налаженным и правильным взаимодействием множества разработчиков, правильным структурным построением ПО, организацией работ, эффективностью инструментальных средств.

Технология разработки ПО включает в себя методы управления программным проектом, которые включают в себя методы и принципы:

-организации разработки,

-планирования разработки,

-контроля хода разработки,

-мотивации разработчиков ПО.

Если график работ будет составлен, таким образом, что время отведенное на различные технологические этапы будет недостаточным для имеющегося штата программистов, А выделенные ресурсы не обеспечивают мотивацию разработчиков, то качество ПО будет снижаться.

Человеческий фактор влияет на качество ПО двумя сторонами. Во первых людям свойственно ошибаться. Ошибки бывают двух видов:

Ошибки-промахи

Ошибки-заблуждения

Во вторых людям свойственно минимизировать и не выполнять круг своих обязанностей в частности сознательно нарушать технологическую дисциплину. Это приводит к ошибкам ПО.

*Стандартизация характеристик качества ПО.*

Несмотря на огромное разнообразие программных продуктов, производимых в настоящее время и соответственно огромное количество критериев качества для них, удалось выделить некоторое количество базовых критериев качества ПО, которое легло в основу международного стандарта ИСО/МЭК 9126-92 «характеристики качества ПО» .

Качество ПО в соответствии с этим стандартом оценивается шестью базовыми характеристиками:

-функциональные возможности,

-надежность,

-эффективность,

-практичность,

-сопровождаемость,

-мобильность или переносимость на другую аппаратную платформу или в другое программное окружение прежде всего ОС.

Данный набор базовых критериев качества не лишен недостатков. Например, в нем явно не хватает характеристики по безопасности ПО.

### *Системный подход к разработке ПО. Этапы жизненного цикла ПО. Каскадная модель жизненного цикла ПО.*

При рассмотрении технологии разработки ПО необходимо использовать системный подход, который предполагает рассмотрение не каких-то отдельных аспектов проблемы разработки ПО, а проблемы в целом. Системный подход реализуется в пространстве и во времени.

Системный подход во времени **рассматривает последовательность этапов создания ПО от момента формирования неудовлетворенной потребности в** ПО **до момента её разрешения** и сопровождения в эксплуатации полученного программного продукта.

Системный подход в "пространстве" **предусматривает рассмотрение разрабатываемого ПО, как части системы.** При этом на базе изучения информационных потребностей системы, в которую будет входить разрабатываемое ПО, формулируются цели и набор функций ПО, анализируются прототипы программных средств. Формируются и документируются требования к ПО.

Современная технология разработки ПО рассматривает программирование, как один из этапов разработки в цепи последовательных этапов цикла разработки. Все эти этапы объединяются понятием жизненный цикл ПО и должны быть поддержаны соответствующими инструментальными программными и аппаратными средствами.

### В соответствии с международным стандартом ISO/IEC 12207 «информационные технологии – Процессы жизненного цикла ПО» процесс разработки ПО содержит следующие этапы жизненного цикла ПО:

1) анализ системных требований и области применения;

2) проектирование архитектуры системы;

3)анализ требований к ПО(спецификации, внешние интерфейсы, требований к квалификации);

4) проектирование архитектуры ПО;

5) детальное проектирование каждой единицы ПО;

6) кодирование ПО (программирование)

7) тестирование единиц ПО;

8) интеграция (объединение ПО) и тестирование совокупности единиц ПО;

9) квалификационные испытания ПО (комплексное тестирование);

10) интеграция системы единицы структуры ПО должны быть объединены с единицами аппаратных средств;

11) квалификационные испытания системы;

12) установка ПО.

Таким образом, процесс разработки ПО имеет свое начало от системы, где это ПО будет использовано и завершается опять в системе.

После этапов разработки в жизненном цикле ПО следует этап эксплуатации ПО и сопровождения при эксплуатации. Иногда перечень этапов жизненного цикла ПО приводится с некоторыми обобщениями (укрупнениями) приведенных 12 этапов. Например, этапы проектирования системы и определение требований к ПО, проектирования программного комплекса, проектирования алгоритмов ПО, программирования (кодирования), автономной отладки ПО, комплексной отладки ПО, эксплуатации ПО.

Пренебрежения этапами проектирования ПО, стремление сразу начать программирование без достаточной проработки алгоритмов и вопросов взаимодействия структурных единиц ПО часто приводит к хаотическому процессу разработки ПО с малыми шансами на успех.

*Спиральная модель жизненного цикла ПО*

проектирование

реализация

АО

КО

анализ

завершение версии 1

Определение требований

завершение версии 2

Рассмотренная модель жизненного цикла (ЖЦ) относится к модели каскадного типа. Этот тип модели ЖЦ хорош для ПО, для которого в самом начале разработки возможно полно и точно сформулировать все требования к ПО. Однако, реальный процесс создания ПО не всегда укладывается в такую жесткую схему и часто возникает потребность возврата предыдущим этапам с уточнением или пересмотром принятых решений.

Для ПО также как и для других сложных систем, первоначальные требования к которым недостаточно полны, характерен итеративный процесс разработки. При этом для некоторых типов ПО даже желательно переходить к следующему этапу как можно быстрее. При этом неизбежные при такой поспешной работе недостатки устраняются на следующей итерации или остаются на всегда.

Главная задача как можно быстрее достичь работоспособного ПО, активизируя тем самым процесс уточнения и дополнения требований. Это так называемая спиральная модель ЖЦ ПО.

На каждом витке спирали выполняется создание версии продукта, уточняются требования к ПО и планируются работы следующего витка. Спиральная модель ЖЦ ПО отражает объективно существующий процесс итеративной разработки ПО.

Считается, что спиральная схема ЖЦ ПО предназначена не столько для торопливых разработчиков, сколько для ПО, некачественные первые версии которого допустимы по функциональному назначению ПО.

С увеличением масштаба программного проекта- увеличением количества участвующих в нем людей потребность в жесткой технологии разработки, составляющих каскадный ЖЦ ПО, возрастает. Здесь необходима документация, так как в любой момент возможна потеря любого из разработчиков, необходима формализация межпрограммных связей ,управление изменениями ПО и т. п. Не даром в стандарты разработки ПО заведена именно каскадная модель жизненного цикла. При этом она также позволяет реализовать итеративный процесс разработки за счет предусмотренной этапности проектирования СТС и ПО для них.

**Для очень больших программных проектов(коллектив разработчиков более 100)технология разработки является ключевым фактором, влияющим не только на качество ПО, но и на саму возможность его создания.**

## Автономная и комплексная отладка ПО. Моделирование работы систем с целью проведения комплексной отладки ПО.

Отладка ПО наряду с проектированием ПО в настоящее время - наиболее трудоемкие этапы из всего жизненного цикла ПО. Поэтому естественны усилия, направленные на автоматизацию этих этапов, на создание эффективных инструментальных средств.

Минимизация общей трудоемкости отладки может быть достигнута, если она разбивается на два последовательных этапа: автономную отладку структурных единиц ПО – программ и комплексную отладку – проверку взаимодействия по информации и управлению, также во времени структурных единиц ПО между собой. Для ПО сложных систем наибольшую проблему составляет комплексная отладка, в процессе которой взаимодействие программ по каждой межпрограммной связи (а их может быть очень много – тысячи) должно быть проверено. При этом автономная отладка каждой программы уже проведена и при комплексной отладке не повторяется.

Остановимся на средствах, повышающих эффективность комплексной отладки ПО, учитывая наличие достаточно эффективных средств проектирования ПО в виде языков проектирования и моделирования.

Пусть имеется программный комплекс (ПК)управления СТС, состоящий из n программ. Каждая из n программ прошла автономную отладку. Мы установили, что в реальной работе системы имеются три типа входных данных в ПО:

1. данные, сообщения приходящие от системы более высокого уровня иерархии (СБВУИ),
2. данные, приходящие от аппаратуры (датчиков) системы,
3. данные межпрограммных сообщений.

Именно два первых типа входных данных, являющихся внешними по отношению к ПО, определяют что делать и как делать в ПО – задают варианты функционирования ПО.

Данные же межпрограммных сообщений являются внутренними для ПО и автоматически вырабатываются при работе ПО в соответствии с логикой, заложенной в ПО.

**Было бы правильным комплексную отладку ПО проводить на полном наборе потоков данных и передач управлений, которыми в реальной системе обмениваются программы ПО в ответ на поступившие от СБВУИ или оператора данные и команды. Тогда, имитируя (моделируя) информацию, поступающую в ПО от СБВУИ и аппаратуры СТС можно было инициировать поток внутренних сообщ**ений **в ПО (связей между программами ПО), очереди к ресурсам ЦВМ таким же образом, как это происходит в реальной системе.**

**ПО**

Внутренний поток данных

Мат. модель

Мат. модель

Имитация работы системы должна учитывать наличие в СТС контуров управления с обратной связью то есть должна включать соответствующие объекты управления, и должна охватывать все варианты использования системы пользователем.

Имитация работы системы должна учитывать наличие в СТС контуров управления с обратной связью то есть должна включать соответствующие объекты управления, и должна охватывать все варианты использования системы пользователем.

Это моделирование может быть проведено в соответствии с 2 методами:

1. Моделирование данных и команд, поступающих на отлаживаемое ПО в системной ЦВМ, с использованием реальной аппаратуры системы (физических моделей) и физической модели объекта управления .
2. Автоматизировано с использованием инструментальной универсальной ЦВМ, на которой реализуются имитационная математическая модель внешней среды - аппаратуры СТС, связанной с математической моделью объекта управления, и реальной системной ЦВМ, в которой размещено отлаживаемое ПО.

Получение входной информации для программ ПО с реальной аппаратуры системы в процессе комплексной отладки не лучший вариант в основном по трем причинам.

1. Во-первых, комплексная отладка программ ПО должна предшествовать стыковке и отладке всей системы управления в целом, так как в этом случае добавляется целый пласт ошибок, связанных с нестыковками аппаратуры, которая также может отличаться новизной.

2. Во вторых, имеющиеся в не отлаженном ПО ошибки могут привести к повреждению аппаратуры системы.

3. В третьих существенная часть отладки – проверка работы ПО в нештатных ситуациях работы системы. На реальной аппаратуре трудно имитируются нештатные ситуации в аппаратуре. Не ломать же её?! Отработка нештатных ситуаций ~ половина работ при отладке ПО СТС.

Использование аппаратных имитаторов для физического моделирования в большинстве случаев нерационально, так как их разработка, изготовление и эксплуатация сложнее, чем цифровой математической модели - имитатора, также как и ее настройка на имитацию штатных и нештатных ситуаций в аппаратуре СТС.

Поэтому наиболее целесообразны методы проведения комплексной отладки путем исполнения отлаживаемого ПО совместно с цифровой математической имитационной моделью внешней по отношению к ПО среды

*Отладочные комплексы.*

Комплексная отладка ПО проводится на двухмашинных отладочных комплексах(ОК). Одна из машин этого комплекса – системная ЦВМ (допускается ее эмулятор), в которую загружено отлаживаемое ПО. Другая машина – компьютерная модель внешней среды- остальных структурных элементов СТС: объекта управления и аппаратуры системы.

В ЦВМ - модели в этом случае должна моделироваться и работа устройств ввода-вывода системной ЦВМ на уровне соблюдения временных характеристик и последовательности выдаваемой информации. После «перехваченная» команда обмена обслуживается моделью соответствующей аппаратуры СТС.

Проверку работы отлаженного на цифровой модели внешней среды ПО в дальнейшем производится на стендах (экспериментальных установках и образцах системы) с реальной аппаратурой, где проверяется электрофизика стыковки аппаратуры и ЦВМ системы. Цели и критерии при проведении этих работ уже другие и отличаются от целей и критериев при отладке ПО.

Технически наиболее простое решение получается, когда системная ЦВМ ведет обмен с аппаратурой системы сетевыми средствами. В этом случае ЦВМ - модель должна быть абонентом на этой сети и можно отметить даже некоторое увеличение адекватности моделирования, так как при этом не надо иметь модели устройств ввода-вывода.

Отладка единого, но **распределенного по узлам сети ПО можно проводить в соответствии с рассмотренной схемой путем последовательной отладки ПО каждой из машин** сети. При этом комплексная отладка может быть проведена путем отладки ПО в каждой из машин сети с использованием моделей ПО других машин сети с учетом наличия готовых средств сетевого взаимодействия с их имитацией в каждой из машин, на которых размещено распределенное ПО.

**Вопросы для самопроверки**

*Функциональные и нефункциональные требования к ПО компьютерных технологий управления СТС.*

*Качество ПО и технология его производства. Влияние человеческого фактора.* *Стандартизация характеристик качества ПО. Управление качеством ПО*

*Функциональные возможности ПО - функциональная полнота*

*Безопасность и безотказность ПО.*

*Системный подход к разработке ПО. Временной и "пространственный " аспекты системного подхода*

*Этапы жизненного цикла ПО. Каскадная модель жизненного цикла ПО.*

*Спиральная модель жизненного цикла ПО*

*«Тяжелые и облегченные»(быстрые) технологии разработки ПО*

### *Классификация ПО. Критические системы.*

## Автономная и комплексная отладка ПО. Моделирование работы систем с целью проведения комплексной отладки ПО.

### *Имитационные математические модели - основное инструментальное средство для КО ПО.*

*Отладочные комплексы. Отладка распределенного ПО.*

**Лекция 14. Модели ВВФ, воздействующих на аппаратуру СТС.** **Искажение сообщений при передаче по ЛПИ. Полоса пропускания ЛПИ. Гальваническая развязка и защита от помех и наводок**

Аппаратура управления движущихся объектов должны работать в условиях воздействий небезопасной физической среды, сильно отличающихся от офисной.

Прежде всего, в условиях повышенных или пониженных температур, повышенной влажности, повышенных механических вибраций и ударов, радиации. С другой стороны ЛВС данного типа используются в системах реального времени чаще всего критичных по применению. Для таких систем надежность - первейшее свойство и необходима защита от неблагоприятных воздействий, могущих привести к отказу узлов .

Для того, чтобы построить защиту от этих неблагоприятных физический полей, необходимо построить модели их воздействия на СТС и ЦВМ, в том числе на элементы ЛВС, а также определить параметры этих моделей. В частности определить интенсивность воздействий, приходящих на устройства ЛВС, а также интенсивности воздействий , приходящие на элементы внутри этих устройств, так как именно на элементы заданы допустимые уровни воздействий ВВФ.

Реальные физические поля внешних возмущающих факторов воздействуют на объект, на котором установлена аппаратура ЛВС и ЦВМ. Корпус этого объекта и, например, системы терморегулирования, установленные на нем, частично защищают аппаратуру от ВВФ, снижая их уровень, приходящий на каждый прибор в зависимости от места его установки внутри объекта. В свою очередь корпуса и элементы конструкции уже отдельных приборов снижают уровень ВВф приходящих на элементы, установленные внутри корпусов. Поэтому необходимы теоретические расчеты и экспериментальные замеры уровней интенсивности ВВФ, доходящих до элементов.

Эти интенсивности ВВФ должны быть сопоставлены с характеристиками элементов, которые должны выдерживать эти воздействия. Данные модели и их параметры определяются расчетно-теоретическими методами, но обязательно подтверждаются экспериментальными данными, полученными как в специально поставленных экспериментах, так и по результатам эксплуатации (не всегда удачными) системы. Ниже эта физическая защита будет рассмотрена подробнее.

Неблагоприятные физические условия функционирования аппаратуры ЛВС прямым образом влияют на её надежность – свойство сохранять работоспособное состояние в течении заданного времени..

Неблагоприятные температурные условия приводят либо к перегреву электронных компонент и выходу их из строя, либо к недопустимым температурным деформациям, приводящим к разрушению плат, разрыву проводников и т.п.

Вибрации и удары приводят к разрушению конструктивных элементов электронной аппаратуры, обрыву проводников и механическому разрушению БИС, источников питания и т.п.

Искусственные и естественные ионизирующие излучения приводят к отказам и сбоям электронной аппаратуры, особенно с элементной базой высокой степени интеграции.

В случае аэрокосмических применений большая угроза безопасности полета исходит от потока электронов и протонов естественных радиационных поясов Земли, солнечных и галактических космических лучей. Воздействие этих ионизирующих излучений приводит к воздействию на БИС эффектов ионизации, структурных повреждений материалов, а также к локальному выделению тепла.

*Схема выбора элементов для аппаратуры СТС*

**ВВФ на систему** **Испытательные средства**

Давление, влажность, Барокамеры, термокамеры

удары и вибрации, вибростенды, ударные стенды,

электромагнитные поля радиационные пушки, реакторы

электрические помехи

Результаты расчетно- теоретическихисследований

Результаты экспериментальных исследований натурных или стендовых

Требуемые ВВФ на СТС

(ЛВС)

ВВФ,приходящиеся на узлы и элементы СТС,ЛВС

допустимые ВВФ на узлы и элементы

(ТУ разра

ботчика)

Результаты теоре

тических

исследований по

Результаты испытаний элементов на стендах разработчика и поставщика

Решение о возможности применения элементов

Без проведения дополнительных испытаний

Проведение дополнит

ельных испытаний по недостающим ВВФ или

недостаточным их уровням

К основным радиационным эффектам относятся:

1) Деградация характеристик БИС вследствие накопления поверхностных и объёмных радиационных повреждений.

2) Возникновение мощных импульсных электрических разрядов вследствие электростатического пробоя изолирующих материалов.

3) Одиночных сбоев БИС от отдельных высокоэнергетических ядерных частиц (высокоэнергетических протонов и ТЗЧ), что связанно с несанкционированным переключением триггеров и искажений бит информации.

4) Отказ КМОП БИС от тиристорного эффекта (защелкивания), вызванного отдельными высокоэнергетическими частицами. Этот отказ проявляется через потерю работоспособности БИС с резким возрастание тока, протекающего через нее по цепям питания, от которого эта БИС обычно сгорает.

Элементы терминальных узлов ЛВС СТС, а так же кабель (среда передачи) подвержены всем этим воздействиям. Основная мера защиты от накапливаемых радиационных эффектов – создание защитных физических экранов из соответствующих материалов и соответствующей толщины (корпуса приборов должны защищать). Эта мера недостаточно эффективна для защиты от высокоэнергетических частиц. В этом случае рекомендуется либо ограничение степени интеграции БИС значением топологической нормы 0,25-0,3 мкм, либо специально разработанные радиационно-стойкие БИС, имеющие в топологии внутренние конструктивные средства защиты. Конечно, такие БИС гораздо дороже обычных и также имеют пониженную степень интеграции.

*Классификация элементной базы по качеству изготовления и допустимым значениям ВВФ.*

Затронув тему значительных уровней ВВФ нельзя не рассмотреть проблему импортной элементной базы и импортного ПО, применяемых повсеместно в настоящее время при создании СТС. Элементная база для устройств информационных технологий должна применяться и испытываться с учетом условий ее эксплуатации в этих устройствах. В настоящее время в России вследствие известных событий она в основном импортного производства. Это создает ряд дополнительных проблем.

По степени защищенности от ВВФ и по степени надежности западная техническая политика и практика разделяет элементную базу на три класса:

industrial; military; space.

Отличия между классами состоят в повышенных уровнях допустимых значений ВВФ, в степени контроля качества при производстве, наличие в двух последних случаях военной приемки и специальной аттестации технологического оборудования, дополнительного объема отбраковочных испытаний. В результате одна и та же микросхема, но сделанная по технологии разных классов отличается по стоимости. В среднем стоимость military на порядок выше, чем industrial, а space на порядок дороже military. Однако, увеличение стойкости и надежности элементов оправдывает это увеличение стоимости. При этом поставка в РФ микросхем последних двух классов оговаривается часто неприемлемыми условиями. **Контрафактная продукция отличается низким качеством изготовления и отсутствием ответственности за это, за объем проведенных приемо-сдаточных испытаний. Претензии по низкому качеству продукции не кому предъявлять.**

Главная проблема состоит в том, что исходная сертификация импортной электронной базы особенно industrial не всегда прозрачна, также как и непрозрачен поставщик. Объем сопроводительной документации недостаточен для правильного конструирования и эксплуатации аппаратуры систем управления СТС. Часто встречаются ситуации, когда условия применения элементов в конкретных отечественных системах не соответствует условиям испытаний разработчика и поставщика и не соответствует их документации. Все это делает в ответственных случаях для критических систем обязательным проведение собственных сертификационных испытаний импортных элементов.

*Проблема импортной элементной базы и ПО при управлении СТС*

Для удостоверения качества, надежности и безопасности применяемых технических средств, в том числе ЛВСуСТС, и ПО информационных технологий их следует подвергать сертификации в специально аттестованных испытательных лабораториях у производителей либо специальных лабораториях. Сертификационные испытания должны устанавливать соответствие характеристик средств ИТ и ПО, документации на них в пределах заданных изменений параметров внешней среды.

Если все испытания на заданные требования прошли успешно, то испытанным средствам ИТ и ПО выдается сертификат соответствия. Сертификационные испытания должны проводиться в лицензированных организациях, имеющих Государственную лицензию на проведение такого рода деятельности.

Лицензия – специальное разрешение, выдаваемое государством, на осуществление конкретного вида деятельности организации любого вида собственности при обязательном соблюдении лицензионных требований и условий, наличия необходимого оборудования и обученных кадров.

При использовании импортного ПО и технических средств ИТ, что в условиях РФ повсеместно имеет место, в них возможны как злоумышленные, так и случайные непредумышленные ошибки, отказы, нарушения ИБ. При этом считается, что злоумышленные вирусы и закладки маловероятны в серийных широко тиражируемых в мире авторитетных продуктах авторитетных производителей. Однако гарантий на этот счет нет, а закладки могут быть сделаны спецслужбами помимо воли авторитетных производителей и тайком от них.

**Поэтому применение в отечественных разработках критических систем импортной элементной базы, устройств и ПО должно сопровождаться дополнительными сертификационными испытаниями и прежде всего, следует полностью отказаться от применения при управлении СТС контрафактных (нелегальных) программ и электронных элементов, происхождение которых не прослеживается (не прозрачно).**

*Искажение сообщений при передаче по ЛПИ*

Рассмотренные методы кодирования бит при передаче по кабелю с высокой частотой последовательности электрических импульсов, близких к прямоугольным, как носителей цифровой информации, кроме проблемы синхронизации вызывает некоторые электродинамические проблемы, связанные с ослаблением мощности сигнала и искажением его формы вплоть до уровней, не воспринимаемых приемником. Это сразу представляет угрозу для целостности информации.

Первая проблема связана с ограниченностью полосы пропускания канала связи и с динамическим ослаблением амплитуды сигнала и искажением его формы в с связи с этим, вторая с отражением сигнала от концов линии при не полном ее согласовании, третья - с затуханием сигнала из-за рассеивания его энергии в среде передачи.

**В результате этих эффектов приемник, настроенный на определенные параметры информационного сигнала прежде всего на четкий и крутой фронт информационного сигнала – импульса может не воспринимать «заваленные фронты» вообще как фронты или наоборот импульс из-за колебаний уровня в районе переднего фронта может восприниматься как два и.т.д.**

**В этих случаях частота следования сигналов либо длина линии должны быть уменьшены, чтобы приемник работал нормально так как динамические искажения зависят от частоты передачи и от длины линии.**

Таким образом, эти физические явления и необходимость их парирования оказывают определяющее влияние на устройство сети, скорость передачи информации и длину ЛПИ.

*Полоса пропускания ЛПИ ЛВС.*

Сигналы, передаваемые в каналах связи имеют сложную форму и могут быть описаны во временной и частотной области.

Частотное представление сигнала – представление его в виде суммы простых сигналов – гармонических колебаний с определенными амплитудами и фазами.

F(t)=

Такое представление очень эффективно, поскольку сравнительно просто определяется **преобразование амплитуды и фазы каждой гармоники, проходящей через линейную систему по её амплитудной и фазовой характеристики. Суммирование всех преобразованных гармоник - сигналов на выходе системы позволяют восстановить уже преобразованный сигнал**

Аппарат преобразования Фурье с другой стороны позволяет представить любой временной сигнал в виде суммы гармоник приведенного вида.

Динамика канала передачи информации такова, что для чисто гармонического сигнала отношение амплитуды сигнала на выходе к амплитуде сигнала на входе канала передачи уменьшается с ростом частоты гармонического сигнала.

Это означает, что при передаче сигнала по каналу передачи все высокочастотные гармоники в его выходном спектре частот будут сильно уменьшаться по амплитуде - практически вырезаться, а амплитуды более низкочастотных составляющих сигнала тоже уменьшатся, но в гораздо меньшей степени. При суммировании спектра гармоник с такими неравномерно урезанными по частотам амплитудами на выходе форма и амплитуда исходного сигнала, которую он имел на входе, будет искажена. Поэтому одной из важнейших характеристик канала передачи данных является его полоса пропускания - амплитудно частотная характеристика..

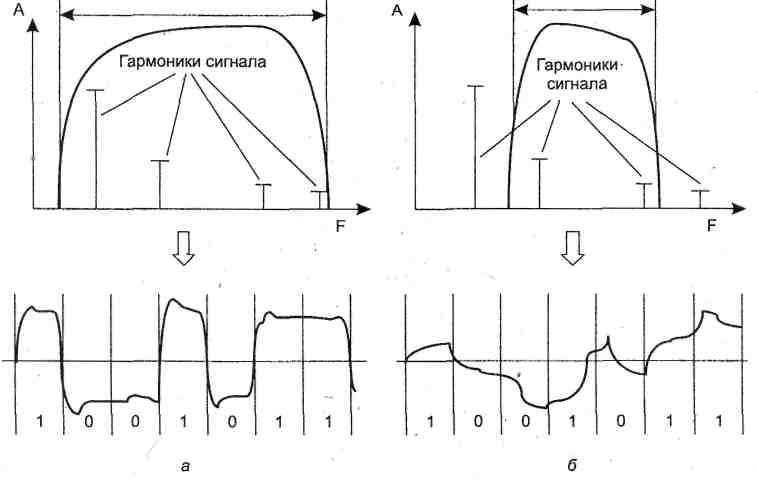
Полоса пропускания это непрерывный диапазон частот, при котором ослабление амплитуды(мощности) сигнала на выходе по отношению к амплитуде(мощности) сигнала на входе не превышает заранее назначенного значения.

В каналах передачи данных эти назначенные значения ослабления амплитуды гармонического сигнала обычно берутся равными 0,707 или 0,5.

Для кабеля в виде витой пары, применяемой в сетях передачи данных, полоса пропускания – 80Гц – 100МГц, для коаксиального 50Гц – 700МГц, для оптоволокна – 80Гц – 10ГГц

Искажения сигналов в линии связи зависит не только от ее характеристик, таких как затухание и полоса пропускания, но и от спектра передаваемых сигналов. Если значимые гармоники сигнала (то есть те гармоники, амплитуды которых вносят основной вклад в результирующий сигнал) попадают в полосу пропуска­ния линии, то такой сигнал будет передаваться данной линией связи с малыми искажениями, и приемник сможет правильно распознать информацию (рис. *а).* Если же значимые гармоники выходят за гра­ницы полосы пропускания линии связи, то сигнал будет значительно искажать­ся, а приемник будет ошибаться при распознавании информации (рис *б)*

При увеличении частоты передачи растут и частоты всех гармоник частотного представления сигнала. За счет динамики ЛПД форма импульса искажается в этом случае сильнее, так как в частотном представлении высокочастотные составляющие сигнала затухают сильнее. Крутые фронты сигнала – импульса образуются именно высокочастотными составляющими, поэтому фронты заваливаются сильнее с ростом частоты передачи.



Соответствие между полосой пропускания линии канала связи и спектром сигнала

*Помехи и волновые эффекты в электрических каналах передачи информации.*

Электрические цепи, как среда передачи обладают одной неприятной особенностью: изменение тока или напряжения в одной из них наводит на другой так же изменение напряжения и тока тем большие, чем ближе эти цепи расположены. На качество и дальность передачи это мешающие взаимное воздействвие цепей, а также внешние источники электромагнитных полей оказывают сильное влияние.

В практике сетей ЦВМ помехоустойчивости уделяется больше значения. Проводится множество исследований помехоустойчивости в том числе и на собранных экземплярах систем.

Эти работы называются работами по исследованию электромагнитной совместимости(ЭМС). Их цель – создание среды передачи свободной от наводок и помех.

Между двумя проводниками всегда существует емкостная связь, связанная с тем, что переменное напряжение в одном проводнике наводит в другом проводнике ток

i =KC где С – емкость между проводниками.

Емкостные связи уменьшаются с увеличением расстояния между проводниками. Другой **способ борьбы с ними – защитный экран вокруг проводника. Экран должен быть металлическим и заземлен.** Такое экранирование обеспечивает хорошую защиту цепей от электрических наводок. Здесь главное требование чтобы экран был сплошной без прерываний в том числе и в разъемах и в заделках проводников в разъем.

Переменный ток также возбуждает переменное магнитное поле, которое наводит в соседнем проводнике, пересекающем поле, ЭДС магнитной индукции. Если проводник, в котором наведена ЭДС индукции образует замкнутый контур, то в нем потечет ток. Этот индуктивный в данном случае паразитный ток пропорционален площади, охватываемой проводником, через которую проходит магнитное поле. **Площадь контура, пронизываемого магнитным потоком нужно уменьшить, используя, например, скрутку проводов.** При скрутке проводов меняется также и знак потокосцепления на каждом витке, так что результирующее магнитное сцепление оказывается незначительным. Это и есть обоснование широкого применения витой пары в ЛПИ сетей. **Проводник, по которому передается информация должен быть как можно дальше отнесен от сильноточных цепей – источников помех.**

Кроме того при передаче сигналов - импульсов по кабелю ЛПИ в локальных сетях длина линии и частота передачи таковы, что **время распространения сигнала между концами линии или между узлами сети сопоставимо с величиной времени изменения сигнала или времени его нарастания**. Такую электрическую линию передачи надо рассматривать как «длинную» линию с распределенными параметрами и учитывать волновые эффекты, возникающие в ней. В частности необходимо учитывать отражения сигнала от концов линии, а так же от любых неоднородностей полного комплексного сопротивления вдоль линии.*.*

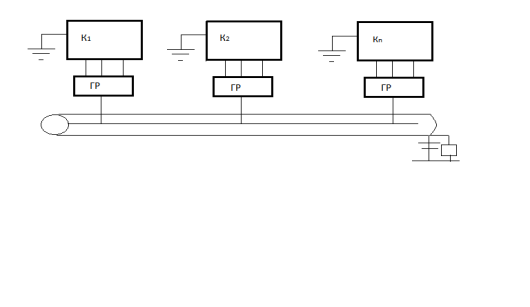
*Наведенный потенциал на корпусе компьютера. Заземление. Гальваническая развязка в ЛВС.*

Заземление представляет собой физическое присоединение нескольких цепей к общему потенциалу «земля». Проблемы связанные с низким качеством заземления являются наиболее распространенными при эксплуатации электрических установок. Когда компьютер не заземлен на его корпусе находится потенциал около 110В. переменного тока. При автономной работе компьютера плохое его заземление может привести только к увеличению числа сбоев. При соединении нескольких территориально разнесенных компьютеров электрическим кабелем правильное устройство их заземления – проблема. Теоретически заземляющие провода компьютеров сети должны сходиться в одной точке. В этом случае разность наведенных потенциалов на корпусах компьютеров не возникает В большинстве практических случаев для сетей этого сделать нельзя и заземления компьютеров, например, в разных зданиях индивидуальны и имеют различные характеристики.

Поэтому из-за наличия разных потенциалов на корпусах заземленных компьютеров по сетевому кабелю потечет выравнивающий ток, засоренный к тому же высокочастотными составляющими. Этот ток может достичь нескольких ампер и является смертельно опасным для слаботочных узлов компьютера (сетевого адаптера). Для устранения выравнивающего тока при практической невозможности устройства правильного заземлений в одной точке необходима гальваническая развязка кабеля ЛПИ и компьютеров.

Для гальванической развязки используют импульсные трансформаторы, позволяющие передавать информационные импульсы, но не пропускающие постоянный выравнивающий ток между компьютерами.

Схема заземления и гальванической развязки сети.



**Вопросы для повторения**

*Искажение сообщений при передаче по ЛПИ*

*Полоса пропускания ЛПИ ЛВС.*

*Помехи в электрических каналах передачи информации.*

*Индуктивные и емкостные связи Гальваническая развязка и заземление в ЛВС*

**Лекция 15 . Безотказность и безопасность управления СТС. Автоматический контроль работы СТС встроенными средствами. Стратегии безопасности и аварийная защита .**

*Характеристики надежности*

**Надежность** – свойство системы (ПО) или его элемента выполнять заданные функции, сохраняя значение заданных параметров в пределах, оговоренных технической документацией или спецификацией, в течение заданного времени и в заданных условиях эксплуатации.

Надежность – сложное свойство, которое характеризуется безотказностью, готовностью (для ремонтируемых систем), живучестью и долговечностью.

Теория надежности появилась во второй половине 20 века, когда появились разнообразные системы, насыщенные электроникой, содержащей огромное количество элементов. Эти системы часто отказывали просто из за того, что вероятность безотказной работы системы падает с ростом числа элементов в ней. Потребовалось создание научной базы для конструирования подобных систем надежными. Среди причин ,вызвавших появление теории надежности можно отметить также ужесточение режимов функционирования систем (температуры ,механические нагрузки, влажность, радиация, помехи).

*Два основных результата теории надежности. Экспериментальная база теории надежности*

Поскольку процесс возникновения отказов это – случайный во времени процесс, то теория надежности – специальный раздел теории вероятности. С другой стороны теория надежности должна базироваться на статистике наблюдаемых отказов и с этой точки зрения она - экспериментальная наука. Для получения статистики по отказам производители элементной базы ставят эксперименты над партией элементов, заставляя их работать в заданных условиях в течении заданного времени до отказа части из них. После этого определяются показатели надежности этих элементов.

Теория надежности дала инженерной практики два важных результата:

1.Методы теории надежности позволяют рассчитать надежность системы по надежности составляющих ее элементов. Для этого и надо иметь экспериментальные характеристики их надежности и представлять структурную схему системы для проведения расчетов.

2.Методы теории надежности позволяют конструировать надежные системы из не надежных элементов, используя избыточные (резервные) элементы, соединенные в резервированную систему особым образом.

Полученные экспериментальные данные по надежности элементной базы являются таким образом основой для проведения расчета надежности сложных систем, состоящих из множества элементов.

*Меры надежности (безотказности). Связь между ними*

Интуитивно представляется, что мера надежности должна быть связана с частотой отказов системы, элементов, ПО за заданный интервал времени. Действительно, основной мерой безотказности является вероятность безотказной работы (ВБР) за время t: P(t)

Другая характеристика безотказности ПО и систем – средняя интенсивность отказов λ(t). Она также характеризует частоту возникновения отказов или ошибок. По определению слова «интенсивность» - это скорость проявления отказов с течением времени. Определим среднюю интенсивность отказов на интервале времени Δt при испытаниях над партией элементов:



Можно показать, что вероятность безотказной работы Связана со средней интенсивностью отказов зависимостью.

**P=exp (-)**

В том случае, когда λ= const

**P=exp (-λt)**

#### *Расчет надежности системы по надежности составляющих её элементов*

Одно из основных предназначений и результатов научной дисциплины теории надежности – провести расчет надежности сложной системы по надежности составляющих её элементов, которые получены экспериментальным образом, то есть статистически определены в результате специальных испытаний в заданных условиях над партией элементов.

Известные законы изменения во времени ВБР элементов позволяют проводить расчет надёжности систем по экспериментально определенной надёжности отдельных её элементов

3

1

n

2

Для этого нужно составить надежностную схему соединения

элементов в системе. Это не структурная и не электрическая схема , хотя имеет с ними общие черты. Это схема, построенная по принципу приводят ли отказы изображенных на схеме элементов к отказу всей системы или нет.

Если система состоит из n элементов), работающих последовательной цепочкой, отказ каждого из которых приведет к отказу всей системы, то можно записать последовательную надежностную схему системы.



Для такой системы работоспособность обеспечивается, если все элементы работоспособны.

Для такой системы из последовательно соединенных элементов ВБР также меняется по ехр, а λсист = .

В случае n элементов с одинаковой интенсивностью отказов λ

***Р = е--λnt***

Чем больше последовательно соединенных элементов , тем меньше суммарная надежность соединения.

*Параллельная надежностная схема соединения элементов в системе*

Если отказ элемента не приводит к отказу системы за счет наличия параллельно работающих элементов, выполняющих ту же работу, что и отказавший, то можно составить параллельную надежностную схему.



1

2

3

n

·

·

·

Для такой схемы отказ наступит, если откажут все параллельные элементы, т.е. обозначив вероятность отказа системы Q по схеме 4:

Q=(1-Р1)·(1-Р2) ·…·(1-Рn),

а вероятность безотказной работы такой системы Р = (1- Q), как несовместимые события



Для ВБР элементов близких к 1

**Р=1 - **

Если интенсивность отказов у всех элементов одинакова, то

**Р =1 – (λt)n**

**Ясно, что в этом случае ВБР системы из параллельных элементов меняется во времени не экспоненциально.**

Для расчета надежности (ВБР) реальных систем составляется надежностная схема, которая обычно является сочетанием рассмотренных нами двух схем. По ней определяется ВБР путем подставки ВБР отдельных элементов.

*Три пути повышения надежности СТС*

Все чаще СТС попадают в разряд критических. **Повышение ВБР такой системы можно достичь,:**

**1. уменьшая интенсивность отказов , повышая качество элементов,**

**2. уменьшая число элементов в системе N, удерживая тот же уровень интенсивности отказов. Поэтому рост степени интеграции БИС, составляющих систему, способствует повышению её надежности.**

**3.Создать надежную систему из ненадежных элементов можно, применив избыточность, одним из видов которой - резервирование.**

Существует множество схем резервирования. Резервирование может быть холодным и горячим. В последнем случае резервное оборудование постоянно включено и может быть сразу введено в работу. Все они отличаются следующими главными параметрами:

1.Временем переключения на резерв, включая время обнаружения отказа, включения и тестирования резервного оборудования

2.Достигаемому значению ВБР.

Самые высокие значения ВБР обеспечиваются в схемах резервирования замещением с холодным резервом, но эти схемы страдают самым большим временем переключения на резерв.

Но во многих СТС жесткого реального времени, где желательно поддерживать непрерывную работу системы в том числе и при отказах составляющих систему элементов, время переключения на резерв - важный параметр и должен укладываться в «работу в реальном времени». При этом перед переходом на резерв надо убедится в наличии отказа и провести его локализацию. Все это делает выбор схемы резервирования непростым делом.

*Контроль работы СТС. Виды контроля. Контроль работы СТС и ПО встроенными средствами без прекращения функционирования СТС*

Многие СТС работают очень быстро. Ещё быстрее работает ПО и человек не в силах отследить изменения значений переменных, логических условий и т.п., если не предпринимать специальных мер. Здесь возможны три варианта осуществления контроля:

1. Автоматический контроль работы СТС и ПО встроенными в ПО средствами, когда некоторые части работающего ПО осуществляют контроль правильности его работы. В этом случае контроль работы ПО осуществляется в реальном времени и без прекращения нормального функционирования системы.

2.Контроль работы СТС и ПО в точках его останова внешними по отношению к ПО средствами. Такой контроль приводит для систем реального времени к прекращению нормального функционирования системы и требует участия человека – оператора.

3. Контроль путем сбора и представления на более высокий уровень иерархии или оператору данных по работе СТС и её ПО, полученных результатах и т.п. Сбор и представление этих данных происходит автоматически внутри работающего ПО фрагментами самого ПО. Здесь можно говорить о контроле без прекращения функционирования системы, но запаздывание оператора на полученную контрольную информацию будет велико и в большинстве случаев не соответствует требованиям автоматических систем реального времени. Кроме того поток контролируемых данных может быть огромен и необходимы меры по его сжатию и прореживанию.

Поэтому автоматический контроль правильности работы СТС и ПО в процессе его эксплуатации является важной и актуальной задачей и в дальнейшем мы рассмотрим именно такой вид контроля работы ПО.

Следует отметить, что во многих случаях разработчики систем и ПО даже не задумываются о необходимости контроля за ходом работы системы и ПО. Можно конечно подождать пока ошибка ПО скажется на поведении всей системы и только потом принимать защитные меры . Например , если ПО управления ракетой « висит» вследствие ошибки и не исполняется, то обнаружение этого факта позволит реализовать защиту гораздо раньше, чем в случае , когда защита включается при достаточно больших отклонениях ракеты от заданного углового положения вследствие того же зависания ПО.

Если «пожару не дать разгореться», то он может быть локализован и быстро погашен. Чем раньше обнаружена ошибка, тем ранее будет прекращена неправильная работа ПО, тем к меньшему ущербу эта неправильная работа ПО приведет, тем большая вероятность того, что предпринятые защитные меры спасут процесс или систему от необратимого развития событий и разрушения. Именно с целью раннего обнаружения ошибок и проводится контроль работы не только СТС, но и ПО, так как в принципе в процессе эксплуатации системы контроль работы ПО можно не проводить, а контролировать только поведение системы.

Поэтому разработчики ПО для критических систем понимают необходимость контроля работы не только системы , но и её ПО.

Вообще контроль необходимо осуществлять на каждом периоде работы системы. Для систем реального времени это означает обязательно встроенный в ПО контроль. Неплохо иметь встроенный контроль и для систем, работающих вне реального времени.

В сложных программных комплексах реального времени до 20% ресурсов ЦВМ идет на реализацию контрольных функций в СТС. Здесь важно правильно выбрать контролируемые параметры и координаты. Которые должны быть чувствительны к нарушениям правильного функционирования системы.

*Стратегии безопасности. Три уровня реакции ПО на обнаруженную ошибку или отказ*

Стратегия безопасности ПО предусматривает априорное при проектировании СТС определение опасности предпологаемых и возможных отказов и ошибок в системе и ПО и применения соответствующих мер, препятствующих развитию ошибочной ситуации и получения неприемлемого ущерба, что входит в понятие «аварийной защиты».

Что происходит с системой, персоналом, окружающей средой, если её безотказность нарушена - отказ произошел? Этот вопрос практический и оценивается свойством «безопасность», которое формулируется, **как свойство системы или объекта не допускать при функционировании таких состояний, которые могут наносить недопустимый ущерб среде, системе или персоналу.**

При этом оценки величины ущерба, нанесенного отказом, должны быть сопоставлены с величиной затрат на средства его предотвращения либо ограничения последствий.

Диапазон подходов к решению этой проблемы очень велик, начиная от придания системе свойств отказоустойчивости до организованного прекращения функционирования системы путем «мягкого её останова» с переводом её в запасное устойчивое состояние, если его можно найти, либо в состояние «финального останова», с минимизацией ущерба для окружающей среды и системе. Где-то в промежутке находятся подходы с продолжением функционирования с ухудшением его качества в той или иной мере.

При этом отказоустойчивая система продолжает функционировать без ухудшения качества процессов управления т.е. отказ части системы как бы остается без последствий – не видим либо маскируется.

Обычно отказоустойчивость систем связывается с наличием либо аппаратной избыточности в СТС, ПО либо наличием временной избыточности. Однако, наличие только резерва аппаратуры или временной избыточности не обеспечивает отказоустойчивости системы. Необходимо сохранения целостности информации в системе, которая может нарушаться вследствие возникшего отказа или сбоя. При этом в зависимости от функции структурной единицы СТС или ПО (программы), в которой проявилась ошибка возможны варианты:

1. снятия с исполнения только той задачи, в которой проявилась ошибка, если это возможно.

2. сокращения объема выполняемых СТС задач до определенного круга, исполнение которых обеспечивается даже при наличии проявившейся ошибки.

3. полного прекращения функционирования СТС с «мягким остановом» системы с приведением аппаратуры и ПО в исходное состояние.

Пункты1, 2 возможно реализовать ,если изоляция ошибок в системе управления высока и имеется резерв, который можно быстро подключить.

*Перечень нештатных ситуаций. Аварийная защита*

Сбор и представление данныхи результатов работы ПО в систему более высокого уровня иерархии

С прекращением функционирования ПО и системы Контроль результатов в точ-ках оста-нова

Отображение данных и результатов

Контроль на допус-тимость величин уставок времени (отрицательные)

Контроль на допус-тимость времени занятости процес-сора задачей

Контроль исполь-зования памяти

Обобщенный контроль средствами ОС

# Аварийная защита

1.Отмена 2. Решение только 3. Полное прекращение

решения задач поддержа- функционирования

только ния работоспо- системы

задачи с собного состоя- с «мягким» остановом

ошибкой ния системы

Без прекращения нор-мального функциони-рования ПО (автоматический встро-енный в ПО контроль)

Сравнение нескольких реализаций ПО

Аппаратный ПРР (деление на 0)

Контроль «трас-сы» программы

Сторожевой таймер (защита от зависания задачи)

Диспетчер памяти

Проверка данных на до-пустимые значения

Исполнение функции за заданное время

Аппаратный контроль работы ПО в ЦВМ

Встроенный функ-циональный конт-роль средствами ПО

Сбор и пред-ставление дан-ных и резуль-татов в систему более высокого уровня иерархии

Контроль работы ПО при эксплуатации

При таком подходе при проектировании ПО определяется перечень возможных нештатных ситуаций в системе, которые могут быть обнаружены самим ПО или системой. После чего на каждую возможную нештатную ситуацию с ПО определяется методика её определения и реакция, реализуемая в СТС и самом ПО – «аварийная защита» с указанием одного из трех рассмотренных сценариев

Реально в специально выделенном фрагменте ПО, предназначенном для управления в нештатных ситуациях СТС, программируется «таблица» с перечнем предусмотренных при проектировании и **распознаваемых аппаратно или алгоритмически нештатных ситуаций и управленческих реакций на каждую из них.** Входы в эту таблицу инициируются при возникновении и обнаружении встроенным контролем нештатных ситуаций. При возникновении непредусмотренных при проектировании или не распознаваемых нештатных ситуаций дело обстоит сложней и чаще всего в этом случае необходимо обеспечивать реакцию по сценарию п.3, как самую радикальную. Классификация возможных методов приведена на схеме. Приведены общие методы , но в конкретных системах они могут быть разнообразнее с учетом специфики работы СТС.

**Лекция 16. Математическое имитационное моделирование работы СТС – основной метод исследования, проектирования, разработки и сопровождения в эксплуатации . Современные средства для компьютерного моделирования управления СТС**

### *Имитационные математические модели*

### 

Модели динамических систем можно написать в замкнутой форме в виде системы дифференциальных и алгебраических уравнений и попробовать получить ее решение в аналитическом виде. Для этого придется проделать множество аналитических преобразований с целью получения соотношений, поддающихся аналитическому решению. Однако, на пути получения аналитических решений имеется ряд практически не преодолимых трудностей, связанных с нелинейностью, с большой размерностью полученной системы соотношений, с наличием, множества нелинейных логико-семантических операций. В этом случае, возможно численное решение системы соотношений модели на компьютере. При этом наличие упомянутых трудностей так же препятствует проведению промежуточных аналитических преобразований с целью получения наиболее компактных соотношений для численного моделирования. Но этого и не надо делать!

Имитационное математическое моделирование позволяет получить численное решение математических соотношений, описывающих моделируемую систему, не проводя промежуточных преобразований, а путем воспроизведения в структуре имитационной математической модели структуры моделируемой системы, а именно – ее подсистем, элементов и связей между ними. Это сильно упрощает математическое описание системы, но делает его в большинстве случаев более громоздким.

В результате имитационная математическая модель имеет блочную структуру, в которой связи между блоками соответствуют связям реальной системы между элементами ее структуры.

Если учесть ,что входные данные ПО – выходные данные модели внешней среды, а входные данные в модель – выходные данные ПО, то получается, что сложность и размер имитационной математической модели внешней среды имеет по крайней мере тот же порядок ,что и у отлаживаемого ПО.

В конкретных случаях СТС сложность и размер имитационной математической модели для отладки ПО достигает 60-80% от сложности и размера отлаживаемого ПО. Эта дополнительная значительная трудоемкость часто пугает разработчиков ПО, которые проводят отладку «На коленке» без использования модели внешней среды. От такого подхода качество отладки страдает, так же как в конечном итоге и сроки отладки.

В технологии создания высоконадежного и безопасного ПО управления СТС ключевую роль играет математическая имитационная модель внешней по отношению к ПО среды, которую можно представить в виде совокупности моделей объекта управления и математических моделей датчиковой аппаратуры, моделей исполнительных органов, связанных с системной ЦВМ и управляемой от ПО .

Эта модель является средством генерации потока входных данных на отлаживаемое ПО путем моделирования работы системы управления. Она же воспринимает управляющую информацию, порожденную ПО, и обеспечивает реакцию на неё моделей объекта управления точно таким образом, как на неё реагировала бы реальная система.

При этом любые проблемы, выявленные в дружественной среде моделирования, могут быть решены гораздо более эффективно, чем в реальной физической среде функционирования ПО. Поскольку любые переменные в процессе моделирования могут быть зарегистрированы и затем успешно исследованы, то проблема неожиданных взаимодействий частей ПО и следовательно подсистем СТС, проблемы неправильной синхронизации и логических ошибок могут быть обнаружены и разрешены сравнительно легко при выборе соответствующей программы такого моделирования.

Это - сравнительно новая роль математического моделирования. При проектировании и эксплуатации систем управления СТС математическое моделирование широко использовалось и ранее, и используется сейчас. Однако, применяемые при этом модели разнородны для этапов разработки и эксплуатации и их разработка не подвергалась системному анализу.

Возникает вопрос: нужны ли для отладки ПО точные и адекватные модели объекта управления и датчиковой аппаратуры и исполнительных органов, учитывающие в полной мере динамическую сложность этих элементов системы управления? Такие модели необходимы для исследования точности и других характеристик качества системы управления на стадиях проектирования и эксплуатации, но при отладке ПО эти вопросы, как правило, не исследуются.

При этом несмотря на общее правило «не использовать в моделях деталей больше, чем это необходимо для поставленной задачи» [5], следует помнить о системном подходе к моделированию и моделям и для отладки ПО использовать достаточно полные модели объекта управления и аппаратуры системы, так как их разработка все равно необходима для решения ряда задач этапов проектирования и эксплуатации СТС.

Возникает и другой вопрос: в какой мере необходимо использовать ПО встроенных ЦВМ и сами встроенные ЦВМ при моделировании работы системы на различных этапах её жизненного цикла: при проектировании, при разработке, при эксплуатации? Возможно ли ограничиваться лишь использованием «моделей встроенного ПО», примерно реализующий алгоритм без деталей его реализации во встроенных ЦВМ или встроенные ЦВМ с их ПО надо включать в контур моделирования на всех этих этапах?

И, наконец, нужно ли использовать реальную аппаратуру в контуре моделирования или математические модели её обеспечат необходимую достоверность результатов?

Ниже даются ответы на эти вопросы.

*Задачи математического моделирования на различных этапах жизненного цикла СТС*

Можно выделить следующие основные направления использования математического моделирования, отличающиеся требованиями к процессу моделирования и моделям СТС.

1. Моделирование, как метод имитации поведения СТС при выполнении ею целевой задачи, традиционно применяется при проектировании СТС:

для выбора структуры и параметров объектов управления и системы управления,

для проверки проектных решений в штатных и нештатных ситуациях и получения характеристик динамических процессов,

для статистических исследований с учетом вероятных разбросов характеристик параметров модели и возмущающих факторов,

для прогнозирования поведения СТС на будущие времена,

для идентификации параметров системы по экспериментальным данным.

Модели объекта управления и системы управления в этом случае могут быть различной сложности и ориентированы на решение конкретных задач с той точностью и с тем качеством, которая соответствует стадии проектирования СТС.

Что касается использования готового ПО встроенных вычислительных средств СТС, то оно, как правило, на проектной стадии отсутствует, так как разрабатывается параллельно и вполне достаточно использовать предполагаемые алгоритмы (или исследуемые алгоритмы) решения задач СТС, исполняемые на универсальных ЦВМ. Принципиально важно, что проектные модели должны имитируют работу СТС в реальном времени.

2. Математическое моделирование широко применяется как средство генерации отладочных заданий в процессе отладки ПО встроенной в СТС ЦВМ о чем говорилось в предыдущем разделе.

В данном случае реальная системная ЦВМ или сеть системных ЦВМ, загруженные отлаживаемым ПО, включаются в контур моделирования .

При этом требуется особое структурное построение моделей объекта управления и аппаратуры СТС [1], такое, чтобы структура модели соответствовала структуре реальной системы и каждый вход и выход отлаживаемого ПО обязательно имел ответную часть в структурированной модели внешней среды.

При выполнении этих условий динамическая точность модели аппаратуры СТС и объекта управления для решения задачи отладки ПО отступает на второй план.

Использование реальной аппаратуры СТС для отладки ПО нежелательно, так как неоправданно усложняет процесс моделирования. Более подробно об этом будет сказано ниже.

3.Моделирование работы СТС при испытаниях собранной СТС. Как правило, при таких испытаниях невозможно запустить в реальную работу объект управления по соображениям безопасности. Здесь наличие реальной аппаратуры СТС обязательно, так как целью моделирования работы собранной системы является проверка физических связей между всеми элементами аппаратного комплекса и правильность его функционирования в различных вариантах использования СТС. Это – хоть и частичная (объект управления в основном моделируется) экспериментальная отработка собранной системы.

Использование реальной аппаратуры предопределяет необходимость работы в реальном времени, что должно быть обеспечено соответствующим временем работы модели объекта управления.

4. Моделирование широко применяется в процессе эксплуатации систем в двух случаях:

4.1 Для проверки гипотез по причинам нештатных ситуаций. При этом используются доступные реальные данные полученные в процессе нештатной ситуации.

В большинстве случаев анализа нештатных ситуаций требуется имитация их развития в реальном времени или имитируемом реальном времени. При разборе нештатных ситуаций большое значение имеет правильное воспроизведении процессов управления в СТС на моменты времени предшествующих нештатной ситуации и в момент аварии, точная привязка ко времени команд управления в окрестности времени проявления нештатной ситуации.

Эти временные диаграммы работы СУ должны воспроизводиться при анализе. Временная диаграмма работы системы сосредоточена в программном обеспечении ее ЦВМ и реализуется при его работе с учетом всех тонкостей организации вычислительного процесса, возможных прерываний и т.п. Поэтому разбор нештатных ситуаций требует воспроизведения работы конкретной версии ПО ЦВМ, а не только моделирования её алгоритмов.

4.2 Для проверки данных, закладываемых в систему в процессе её эксплуатации в качестве исходных данных для её работы, на предмет ихкорректности. Ошибки в этой операции для сложных систем, где объем закладываемых в ПО системы данных велик и сами данные имеют сложную логическую внутреннюю структуру, весьма вероятны и, как показывает практика, приводят к тяжелым последствиям особенно для критических систем.

«Проиграть данные», закладываемые в систему, на адекватной модели и убедиться, что система реагирует на них ожидаемым образом – вот технология, защищающая ПО и СТС от подобных ошибок [1].

При этом часто необходимо прогнозировать поведение СТС с исследуемыми данными на заданный интервал времени. Только после этой проверки и этого моделирования данные могут быть заложены в реальную систему.

Очевидно, что в этих случаях требования к структурному и параметрическому подобию совокупности математических моделей аппаратуры реальной системе, должны быть высоки. В противном случае при математическом моделировании даже будет затруднительно вводить в модель данные, полученные в реальной нештатной ситуации и приписанные к определенным элементам структуры системы.

Упомянутые задачи, решаемые в реальном времени, требуют воспроизведения детального взаимодействия и синхронизации всех составных частей и подсистем СТС. Эти взаимодействия и синхронизация управляются в СТС программным обеспечением встроенных вычислительных средств.

Поэтому необходимо для решения данных задач эксплуатации СТС при математическом моделировании использовать реальные системные ЦВМ и их реальное ПО с целью отражения в вычислительном процессе встроенных ЦВМ всех аспектов реального межпрограммного взаимодействия. Именно ошибки такого взаимодействия являются часто источником проблем и ошибок в работе СТС.

Для решения задач 4.1 и 4.2. использование реального ПО системной ЦВМ со всеми тонкостями взаимодействия и синхронизации его внутренних процессов и потоков при многозадачной работе представляется обязательным

Альтернативой использованию реальной аппаратуры встроенной системной ЦВМ является использование программного эмулятора системной ЦВМ с загруженным в него реальным ПО системы, что при моделировании вполне соответствует целям задачи 4.1 и 4.2.

Использование реальной БЦВМ будет обязательно накладывать однозначное требование на процесс моделирования - моделировать надо в реальном времени.

С другой стороны быстродействие современных ЦВМ позволяет проводить эмуляцию БЦВМ и само моделирование в «моделируемом реальном» времени, которое может оказаться быстрее реального, так как быстродействие системных управляющих ЦВМ на порядки меньше быстродействия современных универсальных ЦВМ. Это повысит производительность процесса моделирования.

*Реальная аппаратура в контуре моделирования. Принцип повторяемости результатов при моделировании.*

Использование реальной аппаратуры системы управления в процессе моделирования является нецелесообразным в основном по ряду следующих причин.

Во первых, практиковавшееся ранее использование реальной аппаратуры системы управления при моделировании основывалось на том, что значительная часть «алгоритма» управления реализовывалась на аналоговых приборах, математическое описание которых ,а затем программная реализация представляли определенные трудности. В обход этих трудностей и использовались реальные приборы. В частности, при моделировании систем управления ракет и других летательных аппаратов использовались реальные рулевые машины, усилители – преобразователи, фильтры и т.п. В настоящее время не представляет большого труда реализовать решение на быстродействующих ЦВМ уравнений модели аппаратуры любой сложности в том числе нелинейных уравнений рулевых машин.

Во-вторых, моделирование при проведении проектных работ должно предшествовать стыковке и отладке всей системы управления в целом. Поэтому при разработке новых систем всегда целесообразно проводить моделирование без взаимодействия с реальной аппаратурой, отличающейся также новизной. Кроме того получение такой реальной аппаратуры в сроки проведения проектного моделирования, а также разработки ПО встроенных ЦВМ представляется весьма проблематичным.

В третьих, существенная часть моделирования – проверка работы СТС в нештатных ситуациях. На реальной аппаратуре трудно имитируются нештатные ситуации в аппаратуре. Не ломать же её?! Моделирование же нештатных ситуаций на математической модели осуществляется буквально «росчерком пера».

Отработка нештатных ситуаций, учет разбросов характеристик объекта управления и аналоговой аппаратуры – существенная часть работ при моделировании СТС и поэтому математическое моделирование здесь является более предпочтительным.

В четвертых, работа с реальной аппаратурой сопряжена с необходимостью поддержания ее в работоспособном состоянии в условиях, когда ресурс её штатной работы при проведении моделирования в течении ряда лет превышается многократно. Износ аппаратуры сопровождается «уходом» её параметров, что может снижать точность проведения моделирования в большей степени, чем неточности ее математического описания. На этом фоне также значительные трудности вызывает настройка параметров аппаратуры при обязательном учете её возможных разбросов в процессе моделирования.

В пятых математическое чисто цифровое моделирование без аналоговых устройств в контуре моделирования обладает полной повторяемостью результатов при задании одних и тех же исходных данных. Этого нельзя сказать при наличии в контуре моделирования аналоговых устройств, на состояние которых и следовательно на результат моделирования влияет изменение питающего напряжения, температура.

Повторяемость результатов – очень важное свойство процесса моделирования при поиске ошибок и при анализе нештатных ситуаций, так как базовый метод анализа, поиска и локализации ошибки основан на многократном повторении «подозрительного на ошибку» участка работы СТС с подключением различных диагностических средств**.** Те ошибки или отказы быстро находятся и локализуются, которые удается легко воспроизводить.

В настоящее время нет причин, требующих использования в контуре моделирования реальной аппаратуры, с одним исключением: для исполнения реального ПО совместно с моделью внешней среды необходима реальная ЦВМ системы. Да и то её вполне можно заменить моделью – эмулятором.

Такой подход сильно упрощает процедуру моделирования и расширяет возможности использования такого программного комплекса моделей на других этапах жизненного цикла ПО и СТС в том числе вне стен организации разработчика СТС и или её системы управления т.е. в местах эксплуатации.

Использование аппаратных физических имитаторов вместо реальной аппаратуры в большинстве случаев нерационально, так как их разработка, изготовление и эксплуатация сложнее, чем цифровой математической модели, также как и ее настройка на имитацию штатных и нештатных ситуаций в аппаратуре СТС.

*Современные технологии и средства для компьютерного моделирования систем автоматизации и управления*

Рассмотрев основную компьютерную технологию создания систем управления для СТС – имитационное математическое моделирование имеет смысл остановится на средствах и инструментах, облегчающих её применение.

Пакет программ MATHCAD, включающий в свой состав три редактора: формульный, текстовый и графический, обеспечивает , принятый в математике способ записи функций и выражений и получения результатов вычислений в виде таблиц и графиков. MATHCAD включает множество операторов, встроенных функций и алгоритмов решения разнообразных математических задач, которые напрямую приложимы к кругу задач управления, и в частности задач моделирования поведения динамических систем. С помощью пакета MATHCAD можно решать следующие задачи, возникающие при проектировании и исследовании систем управления СТС:

выполнять действия с векторами и матрицами,

осуществлять логические операции, решать системы дифференциальных уравнений,

проводить статистическую обработку результатов.

аппроксимировать функции, заданные таблично,

решать задачи оптимизации и т.п.

Пакет SIMULINK позволяет моделировать динамические процессы путем создания структурной схемы, состоящих из различных звеньев и блоков На экране дисплея создается модель исследуемой системы. Меняя параметры системы схему связей между её звеньями можноисследовать динамические процессы, протекающие в системе.

*SCADA системы.*

Автоматизированная система управления системами в общем случае выполняет ряд различных функций:

-сбор и оценка данных управляемого процесса ( мониторинг процесса),

-автоматическое управление некоторыми координатами управляемого процесса от встроенных в систему ЦВМ,

-предоставление человеку-оператору средств «ручного управления системой».

Встроенные компьютеры (контроллеры) в АСУ, в автоматических системах управления движущимися объектами и т.п. выполняют функции звена, перерабатывающего информацию с датчиков и вырабатывающего в автоматическом режиме управляющие воздействия на исполнительные органы системы. Во встроенные компьютеры в той или иной форме вводится информация от человека – оператора (системы более высокого уровня иерархии), содержащая исходные данные, настройки или целевые программы управления.

Исключать необходимость участия в работе технических промышленных систем оператора нельзя и, например, при наладке автоматической системы, разборе и устранении нештатных ситуаций в ней. Поэтому и в автоматических системах необходимо обязательно предусматривать участие человека и соответственно средств доступа к ПО системной ЦВМ.

В этих случаях используется двухуровневое техническое решение, когда встроенный промышленный компьютер (нижний уровень) подключается к РС (верхний уровень), по сетевым технологиям, a оператор сидит и работает за монитором и клавиатурой РС верхнего уровня, имея дистанционный доступ в промышленный компьютер и в его ПО. По этой же линии связи в РС поступает информация из промышленного компьютера, необходимая для работы системы.

Это же двухуровневое решение может быть использовано как инструментальное средство при отладке ПО контроллера. В этом случае. недостающие промышленному контроллеру отладчик, клавиатура и монитор находятся в ПК верхнего уровня.

Во многих случаях в состав подобных АСУТП входят достаточно универсальные пакеты программ управления SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) для непосредственного программного управления технологическим оборудованием на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование. В состав SCADA входят совершенные средства отображения информации управления для оператора, а также средства, позволяющие оператору вмешиваться в управление системой.

В SCADA наряду с языками высокого уровня входит среда графического программирования, позволяющая создавать ПО контроллеров на интуитивно понятном языке предметной области без программирования в общепринятом смысле этого слова. Процесс создания ПО в этом случае состоит из :

- создания схемы управления объектом автоматизации, конфигурирования оборудования ( из библиотеки оборудования),

- добавления программных компонентов из библиотеки компонентов и настройка их свойств,

- создание связей между компонентами ПО и компонентами ПО и оборудованием,

- оформление внешнего вида приложения – пользовательского интерфейса,

- создание структуры и шаблонов отчетов оформления результатов.

На мировом рынке представлено более 50 продуктов, которые можно отнести к SCADA-системам, продукты различаются:

по требуемой операционной системе, наиболее распространена Windows (Linux, Mac OS встречаются намного реже для данного продукта);

по количеству поддерживаемого оборудования,

по цене, по соотношению цена/качество, в общем случае на рынке представлены как полностью бесплатные SCADA, недорогие SCADA с ценой лицензии на 60 тегов от $100 (DATARate), так и SCADA ценой порядка $100 тыс., при максимальной комплектации — при количестве тегов более 5000, нескольких АРМ диспетчера (WinCC, InTouch, Citect);

частный случай условно-бесплатные SCADA, c ограничением по времени работы без перезапуска (обычно 1 час),

**Вопросы для повторения**

*Роль математического моделирования, как средства генерации данных на отладку ПО встроенных в систему ЦВМ*

*Задачи математического моделирования на различных этапах жизненного цикла СТС*

*Реальная аппаратура в контуре моделирования. Принцип повторяемости результатов при моделировании.*

*Современные технологии и средства для компьютерного моделирования систем автоматизации и управления*

*SCADA системы*