

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«Томский политехнический университет»

В. Н. Скороспешкин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Курс лекций

Томского политехнического университета

2009

I Основные понятия о Автоматизированной Системе Управления (АСУ)

АСУ - это человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимый для оптимизации управления в различных сферах человеческой деятельности.

Различают АСУ производственного и организационного типа.

К АСУ производственного типа относят: автоматизированные системы управления предприятиями (АСУП) MES – systems, автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и интегрированные АСУ (ИАСУ).

Особенности АСУП:

1. Доминирующее значение в АСУ имеют экономические задачи управления задачи снабжения, реализации, управления финансовыми средствами, трудовыми ресурсами, бухгалтерский учет и статическая отчетность.

2. В АСУП используются специфические формы хранения и движения информации – документооборот. В качестве управляющих воздействий в АСУП выступают документы в виде приказов, распоряжений, графиков, отчетов и т.д.

3. Реализация управляющих воздействий возлагается на рабочих и служащих.

Особенности АСУ ТП:

1. В АСУ ТП применяется большой объем технических средств (АСУП использует большинство вычислительных процессов).

2. АСУП может быть отнесена к классу АСУ ТП только в том случае, если система осуществляет воздействие на объект в том же темпе, что протекающие в нем технологические процессы. Другими словами АСУ ТП функционирует в режиме реального времени.

3. Цель функционирования АСУ ТП – оптимизация работы объекта управления путем формирования и реализации управляющих воздействий.

АСУП и АСУ ТП могут функционировать самостоятельно, либо могут объединяться в одну систему, которая называется интегрированная АСУ (ИАСУ).

ИАСУ обеспечивает взаимосвязанное и согласованное управление как технологией, так и организацией производства в масштабах всего предприятия.

Цели создания АСУ ТП

Наиболее важные цели в создании АСУ ТП:

1. Обеспечение безопасности функционирования технологических процессов. То есть устранение аварий, связанных с несогласованностью операторов и длительностью времени их реакции.
2. Сокращение стоимости систем контроля и управления за счет исключения из числа используемых при работе дорогостоящих вторичных показывающих и регистрирующих приборов и локальных регуляторов.

3. Снижение стоимости выпускаемой продукции, увеличение производительности, повышение качества достигается за счет оптимизации режимов работы технологического оборудования и использования оптимальных систем управления.

Состав АСУ ТП

АСУ ТП состоит из технического, математического, информационного, организационного обеспечений.

Техническое обеспечение включает в себя технические средства (средства измерений технических параметров, исполнительные устройства, промышленные микропроцессорные контроллеры, компьютеры, регистраторы, источники питания, каналы связи и т.д.).

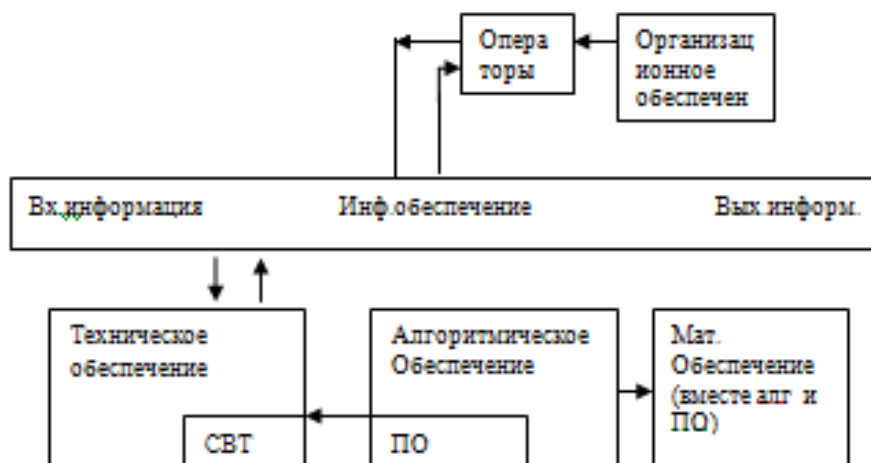
Математическое обеспечение делится на:

1. алгоритмическое - комплекс взаимосвязанных алгоритмов функционирования АСУ ТП.
2. программное - совокупность программ по которым работает УВК.

Информационное обеспечение - это комплекс документов, в которых приводятся перечень входных сигналов и данных и их характеристик, перечень выходных сигналов и документов, а также схемы сбора, обработки и использования информации.

Организационное обеспечение включает в себя документы необходимые для работы оперативного и обслуживающего персонала для эксплуатации АСУ ТП (инструкции операторам, инструкции по ремонту, паспорт системы и описание АСУ ТП).

Схема взаимосвязи отдельных видов обеспечения:



СВТ – средства вычислительной техники;

ПО – программное обеспечение.

Функции АСУ ТП

Функции АСУ ТП - это совокупность действий системы, направленных на достижения частной цели управления. Различают информационно-вычислительные и управляющие функции.

К информационно - вычислительным относят такие функции, результатом выполнения которых является предоставление оператору информации о ходе ТП. Управляющие функции включают в себя действия по выработке и реализации управляющего воздействия на ОУ

Перечень информационно-вычислительных функций:

1. Прямое измерение (сбор, первичная обработка и хранение информации об ОУ).
2. Косвенное измерение параметров процесса и технологического оборудования (ТО).
3. Сигнализация состояний параметров ТП и ТО.
4. Расчет технико-экономических и эксплуатационных показателей ТП и оборудования.
5. Регистрация параметров ТП, параметров ТО и результатов расчётов.
6. Контроль и регистрация отклонений параметров ТП и состояния оборудования.
7. Анализ срабатывания блокировки и защит ТО (определения причин нарушения хода ТП).
8. Диагностика и прогнозирование хода ТП и состояния ТО.
9. Диагностика и прогнозирование состояния комплекса тех средств АСУ ТП.
10. Оперативное отображение информации ведения ТП.
11. Выполнения процедур автомат обмена инфо со смежными и вышестоящими СУ.

Не все перечисленные функции могут быть реализованы в конкретной АСУ ТП. Это зависит от функциональной развитости АСУ ТП.

Перечень функций, определяется при составлении технического задания на проектировании, и при этом учитываются требования, указанные в руководящих материалах (обычно отраслевых).

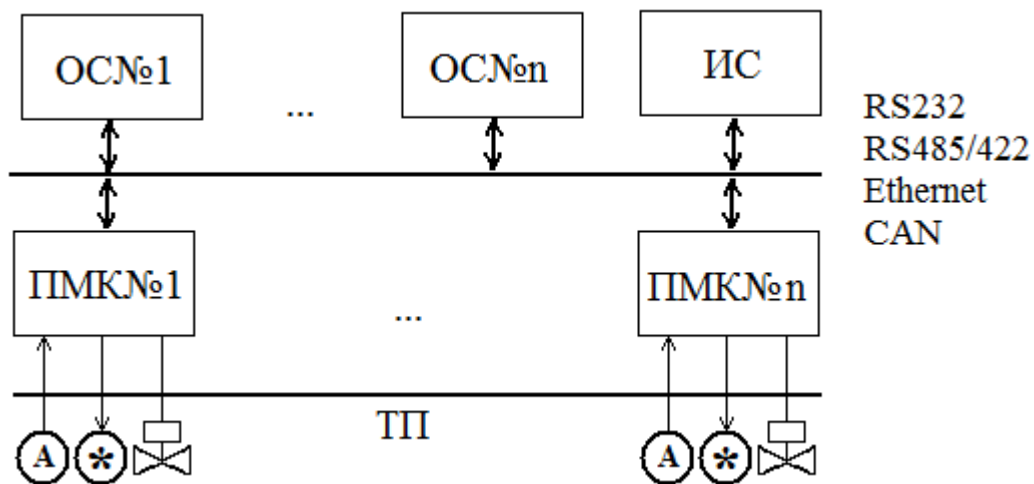
Перечень управляющих функций:

1. Одноконтурное регулирование.
2. Логическое управление.
3. Каскадное регулирование.
4. Многосвязное регулирование.
5. Программное управление.
6. Оптимальное управление установившимися режимами работы ТП (определяются уставки регуляторов, расчет технических параметров).
7. Оптимальное управление неуставившимися режимами работы ТП (оптимальное управление в динамике) – поиск закона изменения параметра, поиск траектории от одного установившегося значения к другому.
8. Оптимальное управление с адаптацией.

Не все перечисленные функции могут быть реализованы в конкретной АСУ ТП.

Реализация функций АСУ ТП как управляющих, так и информационно вычислительных осуществляется с помощью микропроцессорных контроллеров и операторных станций, выполненных на базе компьютеров.

Типовая структура АСУ ТП



Обозначения рисунка:

ИС – инженерная станция.

ОС – операторская станция.

ПМК – промышленный микропроцессорный контроллер.

Контроллеры выполняют следующие функции:

1. управляющие;
2. сигнализацию;
3. сбор и первичную обработку информации;
4. косвенное деление измерение;
5. автоматический обмен между информацией с операторскими и диспетчерскими станциями.

Операторские станции выполняют следующие функции:

1. регистрация информации (архивирование);
2. оперативное отображение в различных видах (в цифровом, табличном, графическом, в виде мнемосхем, содержащих статическую и динамическую часть);
3. подготовка отчетных документов;
4. оперативное дистанционное управление (включение, отключение оборудования, изменение уставок регулятора, подготовка программ по которым работают контроллеры, их загрузка в контроллер и диагностика исправности контроллеров).

ОРС – сервер обеспечивает обмен информации между операторскими станциями и контроллерами.

Классификация АСУ ТП

АСУ ТП классифицируется по следующим признаком:

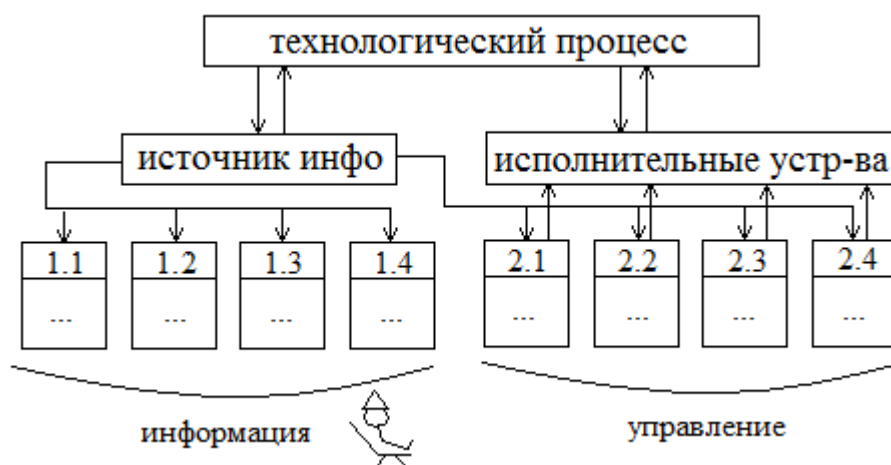
1. По функциям, выполняемым вычислительным комплексом (ВК).
2. По уровню занимаемому АСУ в организационно-производственной иерархии.
3. По характеру протекания управляющего процесса во времени.
4. По показателю условной информационной мощности (УИМ) ОУ.

5. По степени функциональной развитости АСУ ТП.
6. По характеру структуры АСУ ТП.

1. Разновидность АСУ ТП в зависимости от функций, выполняемых ВК

- АСУ ТП с ВК, выполняющим информационные функции.
- АСУ ТП с ВК, выполняющим управленческие функции в режиме «советчика оператора».
- АСУ ТП с ВК, выполняющим функции центрального управления устройством (с ВК, работающим в супервизорном режиме).
- АСУ ТП с ВК, выполняющим функции непосредственного цифрового управления

Структура неавтоматизированной локальной системы управления:



Источники информации:

1. Средства индивидуального контроля. Представляют собой показывающие, регистрирующие и самопишущие приборы, применяющиеся для получения информации о наиболее важных параметрах, которые определяют качество выпускаемой продукции и влияют на безопасность процесса.
2. Средства контроля по вызову. Представляют собой многоканальные приборы, применяющиеся для контроля однотипных параметров, характеризующих состояние технологических процессов.
3. Средства массового контроля. Используются для контроля вспомогательных параметров с малой вероятностью отклонения от заданных значений.
4. Средства сигнализации (сирена).

Исполнительные устройства:

1. Автоматические регуляторы.
2. Средства защиты.
3. Средства блокировки.
4. Средства дистанционного ручного управления.

Структура АСУ ТП с ВК, работающим в информационном режиме:



Система данного вида содержит все технические средства присущие неавтоматизированной системе и отличается лишь наличием ВК, который обеспечивает более полной информацией оператора: определяет комплексно – технические, технико – экономические параметры, а также обеспечивает контроль работы и состояния оборудования.

Достоинство данной системы - повышение качества управления. Основной недостаток такой системы – высокая стоимость, так как наряду с ВК используются средства локальной автоматики. Такие АСУ ТП применяются в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую надёжность.

Структура АСУ ТП с ВК, работающим в режиме советчика:



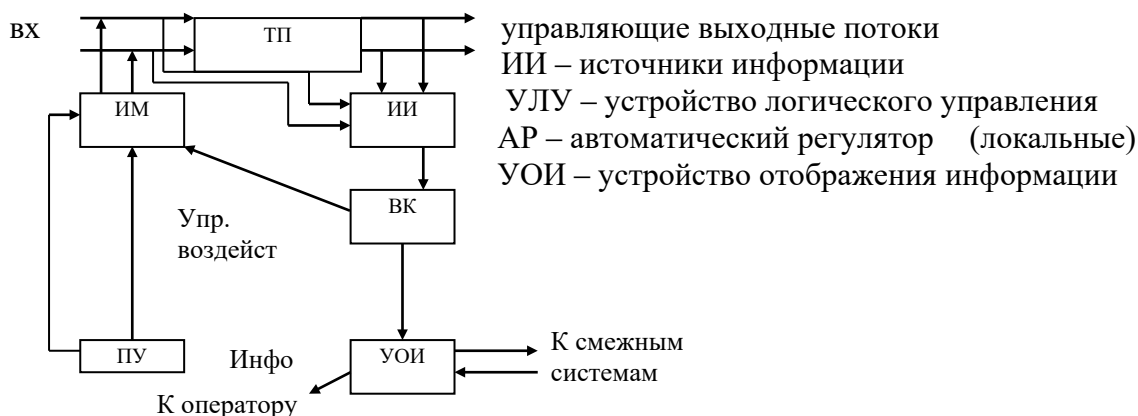
АСУ ТП с ВК в режиме советчика имеет ту же структуру, что и в информационном режиме, но отличается тем, что оператору предоставляется информация не только о ходе ТП, но и совет по управлению. Недостаток данной АСУ ТП такой же - высокая стоимость, а достоинством является то, что качество управления может быть менее квалифицированным (возможность воспользоваться советом).

Структура АСУ ТП с ВК, работающим в «супервизорном» режиме:



В системе данного вида ВК кроме информации передаваемой оператору осуществляется расчет уставок оператора, что позволяет реализовывать оптимальное управление. Число контуров может быть гораздо больше, чем в системе в режиме «советчика» и информационном режиме, так как оператор исключается из системы управления, что является, несомненно, достоинством таких систем. Недостаток – высокая стоимость

Структура АСУ ТП с ВК, работающим с функциями непосредственного центрального управления:



Характерная особенность данной системы заключается в том, что ВК кроме информации, передаваемой оператору, осуществляет расчет и выдачу на исполнительный механизм управляющих воздействий, при этом локальные регуляторы и УЛУ исключаются из системы. То есть ВК выполняет функции регуляторов.

Достоинством является возможность реализации более сложных законов регулирования, чем П, ПИ, ПИД. Например, аperiodический закон, регулятор с min-дисперсией, регулятор Ресвика, Смитта и др., позволяющие получить более высокое качество регулирования (в процессе работы можно менять параметры регулятора, а при необходимости структуру). В процессе работы можно менять как параметры регуляторов, так и законы регулирования. Стоимость этой системы гораздо ниже, чем с супервизорным управлением, из-за исключения локальных регуляторов.

Недостатком является невысокая надёжность – при выходе из строя ВК (если система централизованная) система теряет работоспособность. Для повышения надёжности применяют

резервирование (два ВК), либо используют децентрализованные системы. Т.е. используются несколько ВК, управляющие отдельными частями технологического процесса.

В таких системах могут присутствовать межтактовые колебания регулируемой величины из-за ступенчатого характера регулируемой величины.

2. Разновидность АСУ ТП по уровню занимаемому системой в организационной производственной иерархии

Различают следующие АСУ ТП:

- нижнего уровня;
- верхнего уровня;
- многоуровневые.

К системам нижнего уровня относят АСУ ТП, управляющие агрегатами, установками, не имеющие в своем составе АСУ ТП.

К АСУ ТП верхнего уровня относят АСУ ТП, управляющие группами установок, цехами и производствами, у которых отдельные участки (агрегаты, установки) оснащены своими АСУ ТП нижнего уровня.

3. Разновидность АСУ ТП по характеру протекания управляющего процесса во времени

Различают АСУ непрерывным технологическим процессом (ТП), дискретным ТП и непрерывно – дискретным ТП.

Дискретный характер имеют процесс машиностроения, приборостроения.

В таких процессах используются робототехнические комплексы, которые позволяют создавать гибкие автоматизированные комплексы.

К производствам, имеющим непрерывный характер относят:

- транспортировку нефти и газа;
- выработку, распределение электроэнергии;
- производство нефтехимическое, химических продуктов.

К процессам непрерывно – дискретного цикла относят вопросы электронной, цементной и других отраслях. Такие процессы характеризуются наличием циклов непрерывных и дискретных.

4. Разновидность АСУ ТП по показателю условной информационной мощности объекта управления

Условная информационная мощность объекта управления (УИМ ОУ) и его АСУ ТП, характеризуется числом контролируемых параметров. В зависимости от этих показателей делятся:

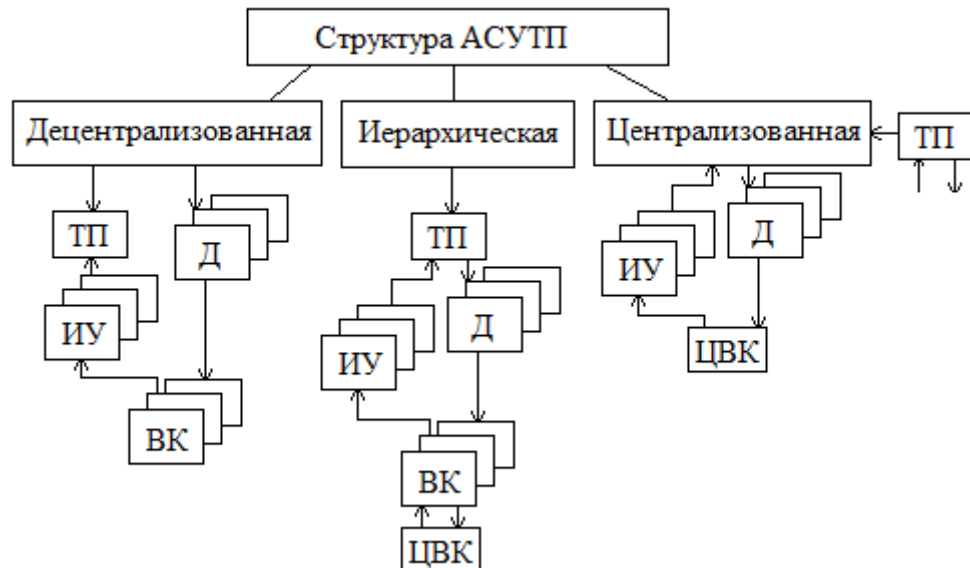
- 1) УИМ малая (число контролируемых параметров не более 40).
- 2) УИМ пониженная (число контролируемых параметров 41-160).
- 3) УИМ средняя (число контролируемых параметров 161-650).
- 4) УИМ повышенная (число контролируемых параметров 651-2500).

5) УИМ высокая (число контролируемых параметров более 2500).

5. Разновидность АСУ ТП по степени функциональной развитости АСУ ТП

Степень функционально развитости определяется двумя наиболее сложными функциями АСУ ТП, реализуемыми в системе.

6. Разновидность АСУ ТП по характеру структуры АСУ ТП



Обозначение рисунка:

ТП – технологический процесс.

Д – датчики.

ИУ – исполнительные устройства.

ЦВК – центральный вычислительный комплекс.

- Системы с централизованной структурой отличаются высоким качеством управления, так как вся информация о процессе находится в ВК. Недостатком является невысокая надежность.
- Системы с децентрализованной структурой характеризуются наличием нескольких ВК, каждый из которых управляет отдельной частью ТП. Согласование комплексов осуществляется на этапе пуска системы в работу. Характеризуются системы высокой надежностью, недостатком является – не высокое качество, так как в процессе работы согласование не производится.
- Иерархическая (многоуровневая) система характеризуется наличием локальных ВК и наличием ЦВК (центральный вычислительный комплекс), в котором находится вся информация о работе ТП, что позволяет вести согласованное управление - координатор. Достоинство – высокая надежность, несколько ВК, высокое качество. Недостаток – больше стоимость, чем у остальных систем.

II Алгоритмическое обеспечение

Алгоритмическое обеспечение – совокупность взаимосвязанных алгоритмов. Множество алгоритмов делятся на 6 групп:

1. Алгоритмы первичной обработки информации (фильтрация, учет нелинейности характеристики).
2. Алгоритмы определения показателей процесса (алгоритмы вторичной обработки информации), определение интегральных и средних значений, скорости, прогнозирования и т.д.
3. Алгоритмы контроля.
4. Алгоритмы цифрового регулирования и оптимального управления.
5. Алгоритмы логического управления.
6. Алгоритмы расчета технико-экономических показателей.

Алгоритмы первичной обработки информации

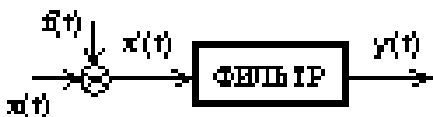
Первичная обработка информации включает фильтрацию полезного сигнала, проверку информации на достоверность, аналитическую градуировку датчиков, экстраполяцию и интраполяцию, учет динамических связей.

Фильтрация – операция выделения полезного сигнала измерительной информации из его суммы с помехой. В зависимости от помех выделяют следующие фильтры:

1. фильтры низких частот (НЧФ).
2. высоко - частотные фильтры (ВЧФ).
3. полосовые фильтры (ПФ, пропускают сигналы определённой частоты).
4. режекторные фильтры (ПФ, не пропускают сигналы определенной частоты).

Наиболее распространенными являются НЧФ, которые подразделяются на фильтры скользящего среднего, фильтры экспоненциального сглаживания и медианные.

Разностное уравнение фильтра экспоненциального сглаживания



Получим уравнение фильтра экспоненциального сглаживания при следующих допущениях:

допущение 1: полезный сигнал $x(t)$ представляет собой случайный стационарный процесс с известными статическими характеристиками M_x – математическое ожидание; D_x – дисперсия;

$r_x(\tau) = D_x \cdot e^{-\alpha \cdot |\tau|}$ - автокорреляционная функция, показывающая степень связи между значениями сигнала в моменты времени, сдвинутые относительно друг друга на время τ .

Полезный сигнал не коррелирован с помехой.

допущение 2: помеха $f(t)$ представляет собой случайный стационарный процесс,

некоррелированный с полезным сигналом и с известными статическими характеристиками $M_f=0$;

$$D_f = k \cdot D_x; \quad k_f(\tau) = k \cdot D_x \cdot e^{-m \cdot \alpha \cdot |\tau|} \quad \text{при этом } k < 0 \quad m > 0.$$

В непрерывном варианте свойства фильтра экспоненциального сглаживания описываются ДУ:

$$T \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x^f(t).$$

Передающая функция $W(p) = \frac{1}{T \cdot p + 1}$ - апериодическое звено

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{y(k) - y(k-1)}{dt}.$$

Заменяя производную - разностью и получаем разностное уравнение:

$$T \cdot \frac{y(k) - y(k-1)}{T_0} + y(k) = x^f(k)$$

$$y(k)[T + T_0] = T_0 \cdot x^f(k) + T \cdot y(k-1)$$

$$y(k) = \gamma \cdot x^f(k) + (1 - \gamma) \cdot y(k-1) \quad \text{— разностное уравнение}$$

$$\gamma = \frac{T_0}{T + T_0}, \quad \text{а } 1 - \gamma = \frac{T}{T + T_0}, \quad \text{где } T \text{ — постоянная времени, } T_0 \text{ — период опроса датчика, } \gamma \text{ — параметр}$$

настройки регулятора. Оптимальное значение γ определяется путём минимизации погрешности фильтра. Оптимальное значение параметра настройки фильтра зависит от статических свойств полезного сигнала, помехи. На практике в большинстве случаев эти параметры определить нельзя, чем меньше γ , тем сильнее сглаживающее свойство фильтра, однако при малых значениях γ может произойти искажение полезного сигнала.

Данный фильтр является самым распространенным низкочастотный фильтром.

Разностное уравнение фильтра скользящего среднего

В аналоговом виде (непрерывный вариант) уравнение ФСК имеет вид: $y(t) = \int_{t-T}^t x^f(t) dt$.

Используя метод прямоугольников можно получить разностное уравнение:

Заменяя интеграл суммой (применяя для интегрирования метод прямоугольников),

$$\text{получим } y(k) = \frac{T_0}{nT_0} \cdot \sum_{i=k-n+1}^k x^f(i) = \frac{1}{n} \sum_{i=k-n+1}^k x^f(i), \quad \text{где } T_0 \cdot \sum_{i=k-n+1}^k x^f(i) \text{ — площадь прямоугольников.}$$

T — время усреднения, $T = nT_0$, n — это число точек усреднения, параметр настроек фильтра.

Оптимальное значение n определяется путём минимизации погрешности (дисперсии ошибки) фильтра и зависит от статических свойств полезного сигнала и помехи.

Чем больше n , тем больше сглаживающее свойство фильтра.

Статические фильтры нулевого порядка

Статический фильтр – фильтр, который в аналоговом варианте представляет собой параллельное соединение $(n+1)$ цепочек, состоящих из усилительного звена и звена чистого запаздывания.

$$W(p) = \sum_{j=0}^n b_j \cdot e^{-\tau_j \cdot p}$$

ПФ такого фильтра имеет вид:

$$b_j = \text{const}$$

τ - время запаздывания, а n – порядок фильтра.

при $n=0$ имеем статический фильтр нулевого порядка $W(p)=b_0 \rightarrow y(t) = b_0 \cdot x^f(t)$.

При использовании данной формулы $y(t)$ будет смещённой оценкой полезного сигнала $x(t)$,

т.е. $M[y(t)] = b_0 \cdot m_x \neq m_x$ - математическое ожидание выходного сигнала.

Для получения несмещённой оценки необходимо использовать следующую функцию:

$$y(t) = b_0 \cdot x^f(t) + (1 - b_0) \cdot m_x.$$

В этом случае $M[y(t)] = b_0 \cdot m_x + m_x - b_0 \cdot m_x = m_x$.

b_0 в качестве параметра настройки $b_0 = \frac{D_x}{D_x + D_f}$.

Для программной реализации статического фильтра нулевого порядка используют формулу:

$$y(k) = b_0 \cdot x^f(k) + (1 - b_0) \cdot m_x.$$

Статические фильтры первого порядка

$$W(p) = b_0 + b_1 \cdot e^{-p\tau}$$

ПФ таких фильтров имеет вид:

$$y(t) = b_0 x^f(t) + b_1 x^f(t - \tau)$$

Математическое ожидание: $M[y(t)] = (b_0 + b_1) \cdot m_x$

Для того чтобы фильтр имел несмещенную оценку $M[y(t)] = m_x \cdot e^{-p\tau}$ при учете $b_1 = 1 - b_0$

$\Rightarrow y(t) = b_0 \cdot x^f(t) + (1 - b_0) \cdot x^f(t - \tau)$, где b_0, τ - параметры настройки фильтра.

Минимизируя значение ошибки фильтрации, получаем: $b_0^{opt} = \frac{1}{2} - \frac{D_x + D_f}{2 \cdot [k_x(\tau) + k_f(\tau)]}$.

Для программной реализации - $\tau = T_0$ - период опроса датчика.

Разностное уравнение: $\Rightarrow y(k) = b_0 \cdot x^f(k) + (1 - b_0) \cdot x^f(k - 1)$.

при $n=0$ имеем статический фильтр нулевого порядка $W(p)=b_0 \rightarrow y(t) = b_0 \cdot x^f(t)$.

При использовании данной формулы $y(t)$ будет смещённой оценкой полезного сигнала $x(t)$, т.е.

$M[y(t)] = b_0 \cdot m_x \neq m_x$ - математическое ожидание выходного сигнала

Для получения несмещённой оценки необходимо использовать следующую функцию:

$$y(t) = b_0 \cdot x^f(t) + (1 - b_0) \cdot m_x.$$

В этом случае $M[y(t)] = b_0 \cdot m_x + m_x - b_0 \cdot m_x = m_x$.

$$b_0 \text{ в качестве параметра настройки } b_0 = \frac{D_x}{D_x + D_f}.$$

Для программной реализации статического фильтра первого порядка используют формулу:

$$y(k) = b_0 \cdot x^f(k) + (1 - b_0) \cdot m_x.$$

Робастные фильтры

Фильтры данного типа предназначены для фильтрации аномальных выбросов. К числу робастных фильтров относят медианный фильтр, фильтр релейно – экспоненциального сглаживания.

Медианный фильтр

Реализация медианного фильтра осуществляется по формуле:

$$y(k) = \text{med}\{x^f(k - M + 1), x^f(k - M + 2), \dots, x^f(k)\}, \text{ где } M - \text{параметр настройки,}$$

med – оператор, означающий операцию оценки медианы.

Оценка медианы проводится по следующему алгоритму:

Проводится упорядочение отсчетов $x^f(k) \dots x^f(k - M + 1)$ в ряд по возрастанию.

При нечетном M в качестве медианы выбирается центральное значение этого ряда. При четном значении в качестве медианы выбирается полусумма двух средних значений ряда.

Фильтр релейно – экспоненциального сглаживания

Алгоритм работы данного фильтра имеет вид:

$$y(k) = y(k - 1) + \alpha(k) \cdot \Psi\{\Delta x(k)\}$$

$$\Delta x(k) = x^f(k) - y(k - 1)$$

$$\Psi\{\Delta x(k)\} = \begin{cases} \Delta x(k), & |\Delta x(k)| \leq \beta \\ \beta \cdot \text{sign} \Delta x(k), & |\Delta x(k)| > \beta \end{cases}$$

$\beta = \Delta + (2 \div 3)\sigma$, где σ - среднеквадратическое отклонение (СКО) помехи, Δ - модуль приращения полезного сигнала на соседних отсчетах.

Разностные уравнения фильтров с заданной АЧХ

Если необходимо реализовать низкочастотный фильтр с заданной АЧХ, то для этих целей необходимо использовать ЛАЧХ (логарифмическая АЧХ).

$$A(\omega) = \frac{Y_{\max}}{X_{\max}} - \text{зависимость коэффициента передачи гармонического сигнала от частоты.}$$

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega).$$

Необходимо определить ЛАЧХ, а затем ПФ и далее от ПФ перейти к дискретной ПФ, используя преобразования Лапласа.

Передаточная функция (ПФ) – отношение, в изображении Лапласа выходной функции к входной при нулевых начальных условиях.

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}, \quad W(z) = \frac{y(z)}{x(z)};$$

$$y(p) = \int_0^{\infty} y(t) \cdot e^{-tp} dt, \text{ где } p - \text{ комплексная величина.}$$

Дискретное преобразование:

$$y^*(p) = \sum_{k=0}^{\infty} y(k) \cdot e^{-pkT_0}.$$

Произвели замену переменной:

$$y(z) = \sum_{k=0}^{\infty} y(k) \cdot Z^{-k}.$$

Переход от ПФ к дискретной ПФ $W(p) \rightarrow W(z)$ может быть произведен на основе

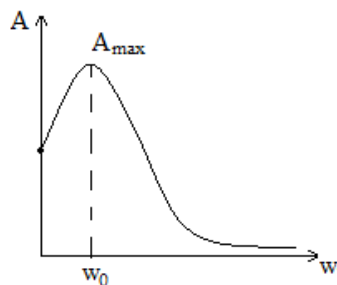
отношения: $p \approx \frac{2}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z+1}.$

После получения дискретной ПФ можно легко получить разностное уравнение, пользуясь теоремой о смещении (запаздывании):

$$z[f(k-\alpha)] = f(z) \cdot z^{-\alpha} - \text{смещенная решетчатая функция}$$

$$\Rightarrow F(z) = Z[f(k)].$$

Не рекуррентная, не рекурсивная система: $y(k) = a_0 \cdot x(k) + a_1 \cdot x(k-1)$ - наличие только входных сигналов в правой части, $y(k) = a_0 \cdot x(k) + a_1 \cdot y(k-1)$ - наличие выходных сигналов.



Для АЧХ, вида

$$W(Z) = \frac{B(1 + Z^{-1})^2}{1 + A + B - 2(1 - B) \cdot Z^{-1} + (1 - A + B) \cdot Z^{-2}} \quad (*);$$

$$\begin{cases} \omega_0 = \frac{2}{T_0} \arctg \sqrt{B - 0.5H^2} \\ A_{\max} = \frac{\sqrt{B}}{A} \end{cases}.$$

А и В подставляем в выражение (*) и ДПФ определена. Далее необходимо написать разностное уравнение и составить программу.

Теорема о смещении:

$$W(Z) = \frac{2 + 5Z^{-1}}{1 - 2Z + 3Z^2} = \frac{y(Z)}{x(Z)};$$

$$y(Z) \cdot (1 - 2Z + 3Z^2) = x(Z) \cdot (2 + 5Z^{-1}).$$

Преобразуем, применяя теорему о смещении, и получаем

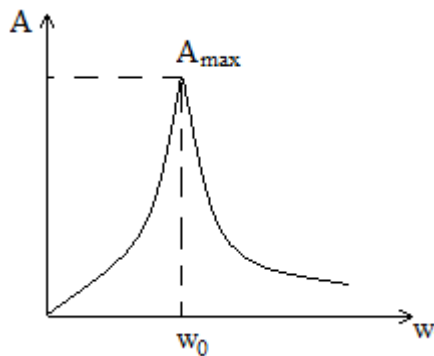
$$y(k) = 2 \cdot y(k-1) - 3 \cdot y(k-2) + 2 \cdot x(k) + 5 \cdot x(k-1).$$

Для высокочастотного фильтра с характеристикой:

$$W(Z) = \frac{(1 - z^{-1})^2}{1 + A + B - 2(1 - B)Z^{-1} + (1 - A + B)Z^{-2}};$$

$$\omega_0 = \frac{2}{T_0} \arctg \left(\frac{1}{B} \sqrt{B - 0.5A^2} \right);$$

$$A_{\max} = \frac{2B}{A\sqrt{4B - A^2}}.$$

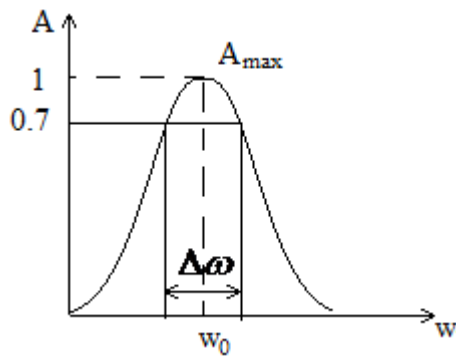


Для полосового фильтра:

$$W(Z) = \frac{(1 - z^{-2})A}{1 + A + BZ^{-1} + (1 - A)Z^{-2}};$$

$$\omega_0 = \frac{2}{T_0} \arccos \frac{B}{2};$$

$$\Delta\omega = \frac{2}{T_0} \arctg A.$$

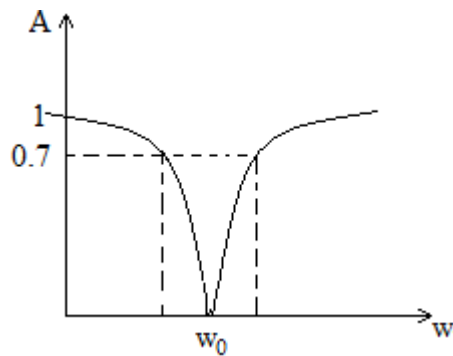


Для режекторного фильтра:

$$W(Z) = \frac{1 - Bz^{-1} + z^{-2}}{1 + A - BZ^{-1} + (1 - A)Z^{-2}};$$

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} \arccos \frac{B}{2};$$

$$\Delta\omega = \frac{2}{T_0} \arctg A.$$



Для реализации процедуры фильтрации применяются и другие фильтры кроме рассмотренных, являющиеся более сложными адаптивными и АЧХ с крутыми фронтами. К числу таких фильтров относят фильтры Чебышева, Калмана, Винера.

Проверка достоверности информации

Недостоверность информации появляется при отказах информационно-измерительных каналов. Отказы бывают двух видов: полные и частичные. Полный отказ наступает при выходе из строя измерительного преобразователя, или при повреждении линии связи. При частичном отказе технические средства сохраняют работоспособность, однако погрешность измерения превышает допустимое значение.

Алгоритмы, позволяющие обнаруживать полные отказы:

1) алгоритм допускового контроля параметра: проверка условия - $X_i^{\min} \leq X_i \leq X_i^{\max}$

$X_i^{\min}$ – минимально возможное значение i-го параметра;

$X_i^{\max}$ – максимально возможное значение i-го параметра.

Если условие не выполняется, то информация недостоверная. В этом случае используют достоверную информацию, полученную в предшествующий момент времени, либо используют среднее значение i-го параметра.

2) Алгоритм основан на определении скорости изменения i -го параметра и проверки условия:

$$A \leq X_i \leq B$$

$$X_i = dX_i(t)/dt$$

$$dX_i(t)/dt = (X_i(k) - X_i(k-1))/T_0, \text{ где } T - \text{период опроса, } T = dt$$

3) Алгоритм аппаратного резервирования – алгоритм контроля информации, с помощью которого выявляются частичные отказы, основанные на использовании информационной избыточности. Избыточность может быть получена путем резервирования информационно – измерительных каналов (аппаратная избыточность), или путем определения некоторых параметров с помощью прямого измерения, так и путем расчетов через другие параметры.

Аппаратная избыточность – признак отказа, нарушение условия - $|X_i - X| < C$, где

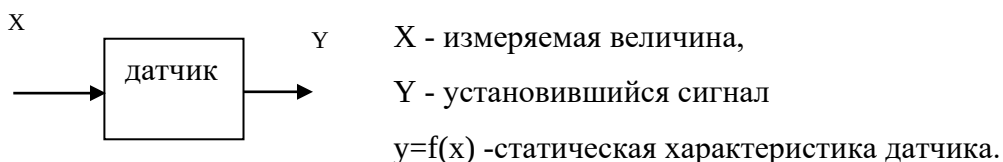
X – это среднее значение по всем измерительным преобразованиям

X_i – значение, полученное от i измерительного преобразования

C – наибольшее допустимое значение модуля разности (2-3 от средне квадратичной погрешности изменения преобразования)

4) Уравнение материального баланса имеет вид: $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$. Уравнение выполняется лишь в том случае, если значения параметров $x_1, x_2, \dots, x_n$ соответствуют истинным значениям. Если параметры изменяются с погрешностью Δx_i , имеем $\tilde{x}_i = x_i + \Delta x_i$. При подстановке значений $\tilde{x}_i$, получим $f(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n) = \delta \neq 0$. Если $|\delta| > \delta^{MAX}$, то информация считается недостоверной.

Алгоритмы аналитической градуировки датчиков



Под аналитической градуировкой датчика (АГД) понимают определение (восстановление) измеряемой величины по сигналу, снимаемому с датчика (преобразователя).

$\tilde{x} = F^{-1}(y) = f^{-1}(y)$, где $\tilde{x}$ - оценка измеряемой величины, полученная по сигналу, снимаемому с датчика; f^{-1} – обратная функция $y=f(x)$.

Если градуировочная характеристика измерительного преобразования задана аналитически, то АГД сводится к реализации вычислительной операции.

Если статическая характеристика датчика линейная: $y=ax+b$, то аналитическая градуировка сводится к реализации вычислительных операций, то есть к формуле $\tilde{x}=(y-b)/a$.

В этом случае аналитическая градуировка датчика выражается в масштабировании. Однако большинство промышленных датчиков (преобразователей) имеют нелинейную статическую характеристику, которая часто определяется экспериментально и представляется в виде графика или градуировочной таблицы (для этого используют паспортные данные). При табличном

представлении градуировочной характеристики применяют способ АГД, заключающийся в аппроксимации градуировочной характеристики аналитическим выражением. Одним из наиболее распространенных методов аналитической градуировки является аппроксимация при помощи степенных полиномов:

$$x^{\wedge} = F(y) = \sum_{j=0}^n a_j \cdot y^j = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + \dots + a_n y^n,$$

где $a_0, a_1 \dots a_n$ - коэффициенты, которые должны быть численно определены;

n – степень полинома.

Используя эту формулу, возникает ряд задач:

1. Выбор критерия, по которому определяется коэффициенты a_j ;
2. Определение степени полиномов (n), обеспечивающие требуемую точность аппроксимации.

В зависимости от критерия, используемого для аппроксимации, различают следующие полиномы:

1. Полиномы наилучшего равномерного приближения (НРП).

Критерием определения коэффициентов данных полиномов выступает требование обеспечения заданной точности в любой точке диапазона работы датчика. Для аппроксимации данного полинома необходимо минимизировать линейную форму, для чего используются методы линейного программирования (решение задачи оптимизации). Линейное программирование – раздел математики, в которых рассматриваются методы определения экстремума линейного критерия при линейных ограничениях. Наиболее распространенный метод линейного программирования – симплекс метод (метод последовательно улучшения плана). Недостатком полинома НРП является сложность определения коэффициентов, то есть необходимость решения задачи линейного программирования.

2. Асимптотические полиномы.

Достоинством является возможность предварительной оценки степени полинома до расчёта коэффициента. Расчёт коэффициентов базируется на градуируемой таблице. Приведем фрагмент этой таблицы:

Степень	Используемые точки	Коэффициенты полинома	Параметр точности
1	$y_0=b$ $y_1=(b-a)/2$ $y_2=a$	$a_0=1/4[(x_0+2x_1+x_2) - 2((b+a)/(b-a))(x_0-x_2)]$ $a_1=(1/(b-a))(x_0-x_2)$	$L_1=1/2(1/2x_0- x_1- 1/2x_2)$
2	$y_0=b$ $y_1=b-1/4(b-a)$ $y_2=a+1/4(b-a)$ $y_3=a$	$a_0=2/3((b+a)/(b-a))^2(x_0-x_1-x_2+x_3)-1/3((b+a)/(b-a))(x_0+x_1-x_2-x_3)+1/6(-x_0+4x_1+x_2-x_3)$ $a_1=2/3(b-a)[1-4((b+a)/(b-a))](x_0-x_2)+(1+4)((b+a)/(b-a))(x_1-x_3)$ $a_2=2/3(2/(b-a))^2(x_0-x_1-x_2+ x_3)$	$L_2=1/3(1/2x_0- x_1+x_2-1/2x_3))$

$$a \leq y \leq b$$

x_0, x_1, x_2 – значения измеряемого параметра, соответствующие y_0, y_1, y_2

3. Регрессионные полиномы используются для АГД нестандартных датчиков. В качестве критерия определения коэффициентов принимается величина среднеквадратической погрешности аппроксимации в диапазоне изменения измеряемой величины:

$$I = \sigma_{\Delta x}^2 = \sum_{i=1}^m (x_i - x_i^{\wedge})^2 = \sum_{i=1}^m (x_i - p_p(a_j y_i))^2 \rightarrow \min$$

(минимизируется сумма квадратов ошибок)

Для определения коэффициентов полинома используется метод наименьших квадратов, при котором минимизируется критерий и решается система уравнений: $dI(..)/da_0=0$

.....

$$dI(..)/da_n=0$$

Сравнивая разные полиномы можно сделать вывод: регрессионные полиномы дают наименьшую среднеквадратичную ошибку. Полиномы НРП дают минимум максимальной ошибки, а асимптотические занимают промежуточное положение между ними.

Применение интерполяции и экстраполяции при контроле параметров и показателей

Процесс получения инфо о непрерывно-изменяющихся величинах в АСУ ТП происходит дискретно во времени, поэтому возникает задача восстановления значений измеряемых величин в моменты времени, несовпадающие с моментами замеров.

Для управления, когда необходимо знать значение измеряемой величины в текущий или будущий момент времени используется метод экстраполяции значения величины, полученной в предшествующий момент времени.

Для анализа работы производства и вычисления технико-экономических показателей необходимо определить значение величин в предшествующие моменты времени, в этом случае используются методы интерполяции.

В большинстве случаев экстраполяцию осуществляют ступенчатым методом. При ступенчатой экстраполяции о значении измеряемой величины в любой текущий момент времени судят по измеренному значению величины последней токи замера. Погрешность ступенчатой экстраполяции: $\sigma^2 = 2[k_x(0) - k_x(T_0)] + \sigma_{\Delta x}^2$,

где k_x - автокорреляционная функция (устанавливает степень связи);

T_0 - период опроса датчика;

$\sigma_{\Delta x}$ - погрешность измерительного преобразования.

Таким образом, погрешность ступенчатой экстраполяции зависит от статических свойств измеряемой величины, периода опроса и погрешности измерительного канала, что необходимо учитывать при выборе периода опроса.

Для интерполяции чаще всего применяется кусочно-линейная аппроксимация, которая проводится по двум точкам с использованием следующей формулы:

$$x_{II} = \frac{t_{i+1} - t}{T_0} x(t_i) + \frac{t - t_i}{T_0} x(t_{i+1})$$

$$T_0 = t_{i+1} - t_i \quad t_i < t < t_{i+1}$$

Менее точной является ступенчатая интерполяция.

Учёт динамических связей

Наличие инерционного датчика может существенно исказить частотный состав измеряемого сигнала, например, при измерении температуры в печах применяют массивные чехлы для защиты термопар от механических повреждений, что вызывает значительную динамическую погрешность.

Если принять статический коэффициент передачи инерционного датчика равным единице, то есть $k = \frac{y(\infty)}{x(\infty)}$ при $W(p) = \frac{k}{Tp + 1}$, то необходимо учитывать следующую связь: $y(t) = x(t - \tau)$, т.е. в текущий момент времени на выходе датчика формируется сигнал несущий информацию о значении параметра в предшествующий момент времени, т.е. в момент времени $t - \tau$.

Алгоритмы вторичной обработки информации

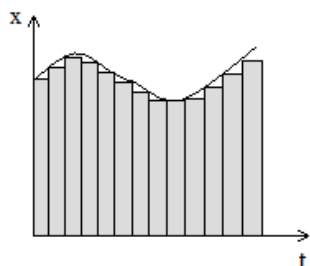
К основным операциям вторичной обработки относят:

- определение интегральных и средних значений величин и показателей;
- определение скорости изменения величины и показателей;
- определение величин и показателей, неизмеряемых прямым методом (косвенное измерение);
- прогнозирование значений величин;
- определение статических характеристик, величин и показателей.

Применяются для управления и анализа работы. Большое значение имеет определение суммарных количеств вещества или энергии, получаемых в производстве за определенный интервал времени. Примерами являются расходы электроэнергии, топлива за час, смену, сутки и так далее. Этим же целям служит определение средних значений измеряемых величин, являющихся режимными показателями (среднее время, среднее давление и т.д.)

Рассмотрим методы дискретного интегрирования, непрерывно изменяющейся во времени измеряемой величины. Далее приведены численные методы интегрирования.

1. Метод прямоугольников.



Суть метода состоит в замене реализации $x(t)$ её ступенчатой экстраполяцией за время t .

$$\sigma_x(T) = T_0 \sum_{j=0}^{n-1} x(j), \quad n = \frac{T}{T_0}, \text{ где } T_0 - \text{период опроса датчика.}$$

В представленном виде алгоритм интегрирования используется редко, для его реализации требуется запоминать все значения $x(j)$. На практике используется рекуррентная формула:

$$\sigma_x(j) = \sigma_x(j-1) + T_0 x(j), \quad \sigma_x(0) = 0.$$

2. Метод трапеций.

Более точным является метод трапеции. Рекуррентная формула:

$$\sigma_x(j) = \sigma_x(j-1) + T_0 \left(\frac{x(j-1) + x(j)}{2} \right).$$



Погрешность метода трапеции меньше погрешности метода прямоугольников на величину:

$$\Delta \int = \frac{T_0^2}{2} [k_x(0) - k_x(T)].$$

Как показывают расчеты приблизительно на 10% уменьшается погрешность дискретного интегрирования при переходе от метода прямоугольника к методу трапеции при $n > 10$, когда существенное влияние на результат расчета оказывают кратные числа, следовательно, на практике в большинстве случаев используют метод прямоугольников, как более простой и экономичный.

Среднее значение определяется через интегральное: $\bar{\int}_x = \frac{\int_x(jT_0)}{jT_0}$, где

$T = jT_0$ - время интегрирования.

Дифференцирование дискретно – измеряемых величин. Для анализа хода технологического процесса весьма важным является определение не только численных значений параметров, но и тенденция их применения в текущий момент времени (увеличивается параметр или уменьшается). В этом случае необходимо определять скорость изменения параметра, то есть осуществлять дифференцирование.

Производная от ошибки необходимо определять и при реализации регулятора, например с ПД, ПИД звеньями.

Наиболее простой алгоритм дискретного дифференцирования основан на использовании следующей функции: $\dot{x}(k) = \frac{x(k) - x(k-1)}{T_0}$, где T_0 – период опроса датчика.

Алгоритмы прогнозирования значений величин и показателей

Для расчета прогнозируемых значения необходимо построить математическую модель временного ряда. В практике краткосрочного прогнозирования наибольшее распространение получили модель авторегрессии и полиномиальная модель.

Модель авторегрессии имеет вид: $y(j) = a_0 + \sum_{k=1}^p a_k y(j-k)$, где a – коэффициенты, p –

порядок. Расчет прогнозируемых значений проводится по формуле:

$\tilde{y}(n+l) = n_0 + \sum_{k=1}^p a_k \tilde{y}(n-k+l)$, где $\tilde{y}(n-k+l)$ - измеренные или прогнозируемые значения

временного ряда в моменты времени $t=(n-k+l)$ То.

Данный алгоритм прост в реализации, но его недостатком является низкая точность, так как результаты $a(k)$ не уточняются по результатам прогноза. Этого недостатка лишен метод

полиномиальной модели: $\tilde{y}(n+l) = a_0(n) + a_1(n) \cdot l + \dots + \frac{1}{p!} a_p(n) \cdot l^p$, где n - номер

текущего шага, l - число шагов прогноза.

Оценка параметров этой модели a уточняется по мере поступления каждого нового значения временного ряда. Для этих целей используется экспоненциальные средние различного порядка.

1 порядка: $Z_1(j) = \gamma y(j) + (1-\gamma)Z_1(j-1)$

2 порядка: $Z_2(j) = \gamma Z_1(j) + (1-\gamma)Z_2(j-2)$

...

r порядка: $Z_N(j) = \gamma Z_{r-1}(j) + (1-\gamma)Z_r(j-1)$, где γ - параметр настройки прогнозирования.

Выбор данного параметра основывается на следующих свойствах: если желательно чтобы прогноз базировался на последних значениях временного ряда, то следует выбирать значение γ , близкое к 1. Если необходимо учитывать и предыдущие значения временного ряда, то γ необходимо уменьшать.

Расчет коэффициентов осуществляется по формуле для модели 1 порядка:

$$a_0 = 2z_1(j) - z_2(j);$$

$$a_1 = \frac{\gamma}{1-\gamma} (z_1(j) - z_2(j)).$$

Расчет коэффициентов осуществляется по формуле для модели 2 порядка:

$$a_0 = 3[Z_1(j) - Z_2(j)] + Z_3(j);$$

$$a_1 = \frac{\gamma}{2(1-\gamma)^2} [(6-5\gamma)Z_1(j) - 2(5-4\gamma)Z_2(j)] + (4-3\gamma)Z_3(j);$$

$$a_2 = \frac{\gamma^2}{(1-\gamma)^2} [Z_1(j) - 2Z_2(j) + Z_3(j)].$$

Коэффициенты в полиномиальном законе рассчитываются через модели 1 и 2 порядка; модели высшего порядка применяются редко, т.к. качество прогноза растет незначительно.

Определение статистических показателей измеряемых величин

Знание статистических характеристик необходимо для оценки качества выпускаемой продукции и определения момента нарушения хода ТП. В этом случае меняются значения статистических характеристик измеряемых величин. Особенностью определения l_{fyys} характеристик является использование рекуррентных формул.

Математическое ожидание (1 – не рекуррентная формула, 2 – рекуррентная формула)

$$m_x(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(i); \quad (1)$$

$$m_x(n) = m_x(n-1) + \frac{x(n) - m_x(n-1)}{n}. \quad (2)$$

Дисперсия (1 – не рекуррентная формула, 2 – рекуррентная формула)

$$D_x(n) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x(i) - m_x(n))^2; \quad (1)$$

$$D_x(n) = \frac{n-2}{n-1} D_x(n-1) + \frac{(x(n) - m_x(n-1))^2}{n}. \quad (2)$$

Алгоритмы контроля

Понятие контроль более широкое понятие и включает в себя измерение величин и показателей и сравнение их с допустимыми пределами.

Рассмотрим общие и частные постановки задачи определения величин и показателей.

Общая постановка:

Задана совокупность величин и показателей, которые необходимо определить в объекте контроля. Указана требуемая точность их оценки. Имеется совокупность датчиков, которые установлены или могут быть установлены на автоматизированном объекте. Требуется для каждого отдельного показателя найти группу датчиков, частоту их опроса и алгоритмы обработки, получаемых от них сигналов. В результате чего значение этой величины определится бы с требуемой точностью.

Точность оценки искомой величины определяется точностью работы измерительных цепей (датчика, преобразователя), частотой их опроса и точностью вычислительной переработки измерительных сигналов в искомую величину.

Частные постановки:

1. Определение текущего значения величины непосредственно измерением автоматическим прибором или датчиком.

- когда требуемая точность измерения намного меньше точности датчика с преобразователя;
- когда требуемая точность измерения больше точности датчика или преобразователя.

Второй случай является более общим. Для контроля необходимо найти такие алгоритмы преобразования сигнала датчика, которые бы увеличили точность до требуемого значения. Для этого необходимо произвести анализ существующей погрешности и выявить отдельные ее составляющие, а затем их скомпенсировать, путем использования специальных алгоритмов.

В зависимости от причин возникновения погрешностей применяют следующие **алгоритмы, уменьшающие погрешность:**

Аналитическая градуировка датчиков.

Если погрешность вызвана нелинейностью статической характеристики датчика.

Фильтрация сигнала от помех.

Если внутри объекта или датчика существует источник значительной помехи, который накладывается на полезный сигнал.

Экстраполяция и интерполяция

Если значительная погрешность оценки величины вызвана большим значением периода опроса.

Коррекция динамической погрешности датчика

Если датчик представляет собой инерционное звено, а измеряемая величина меняется во времени со значительной скоростью.

2. Определение значения величины, вычисляемой по измеренным датчиком сигналам.

Например, оценка суммарного значения, среднего значения, скорости и т. д. В этом случае необходимо выбрать рациональные алгоритмы переработки измеряемого сигнала.

Кроме того здесь не исключено применение алгоритмов АГД, фильтрации и т. д.

Данная задача наиболее сложна в тех случаях, когда не известен характер связи между измеряемыми сигналами и искомой величиной (косвенное измерение). В этом случае необходимо произвести анализ уравнений материального и теплового баланса, которые позволяют выявить эту связь или использовать регрессионный анализ.

Определение периода опроса датчиков измеряемых величин

Период опроса существенно влияет на точность контроля. Рассмотрим способ определения периода опроса, основанный на определении автокорреляционной функции.

Пусть задана среднеквадратичная погрешность $\sigma_x^{\max}$. Определение величины $x(t)$.

Требуется найти интервал времени T_0 между замерами, при которых погрешность определение величины не превышало бы заданного значения. Методика основана на зависимости ошибки и

автокорреляционной функции: $\sigma(jT_0) = \sqrt{2[R_x(0) - R_x(jT_0)]}$, где

$R_x(jT_0)$ - автокорреляционная функция.

$$R_x(jT_0) = \frac{1}{n-j-1} \sum_{i=1}^{n-j} (x_i - M_x)(x_{i+j} - M_x), \text{ где}$$

n - объем выборки, по которой определяется автокорреляционная функция.

$$M_x = M_0, R_x(0) = D_x.$$

Сущность методики состоит в следующем:

1. Осуществляется съем данных с произвольным периодом опроса T_0 (как можно меньше).

Число точек опроса: 30-50. Полученные данные заносятся в таблицу:

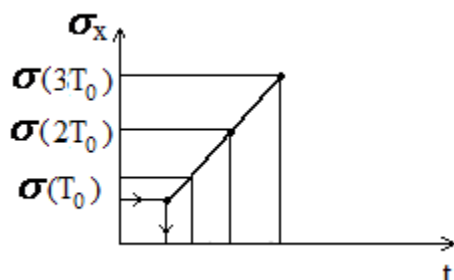
№	Время	Значение x	Отклонение за время					
			T_0		$2T_0$		$3T_0$	
0	0	x_0	-	-	-	-	-	-
1	T_0	x_1	Δ_{10}	Δ_{10}^2	-	-	-	-
2	$2T_0$	x_2	Δ_{21}	Δ_{21}^2	Δ_{20}	Δ_{20}^2	-	-
3	$3T_0$	x_3	Δ_{32}	Δ_{32}^2	Δ_{31}	Δ_{31}^2	Δ_{30}	Δ_{30}^2
...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	$n T_0$	x_n	$\Delta_{n(n-1)}$	$\Delta_{n(n-1)}^2$	$\Delta_{n(n-2)}$	$\Delta_{n(n-2)}^2$	$\Delta_{n(n-3)}$	$\Delta_{n(n-3)}^2$
Значение ошибки			$\sigma(T_0)$		$\sigma(2T_0)$		$\sigma(3T_0)$	

$$\Delta_{i(i-k)} = x_i - x_{i-k};$$

$x_i = x(t_i)$, $x_{i-k} = x(t_{i-k})$, где i – номер строки таблицы, k – номер столбца.

$$\sigma(kT_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=k}^n \Delta_i^2(i-k)}{n-k}}.$$

2. Строится график зависимости ошибки от периода опроса.



3. По значению $\sigma_x^{\max}$ по графику определяется значение T_0' .

Значение периодов опроса датчиков, используемых на практике.

- Расход: 0.1 – 2с.
- Уровень: ≈ 5 с.
- Давление: 0.5 – 10с.
- Температура: 5 – 30с.

- Концентрация: $\approx 20\text{с}$.

Виды контроля

Общей функцией автоматического контроля является фиксация хода технологического процесса во времени и непрерывное (периодическое) сравнение параметров процесса с заданными.

Различают следующие виды контроля:

1. Контроль технологических процессов в нормальном режиме.
2. Контроль качества выпускаемой продукции.
3. Контроль процесса при выходе его на номинальный уровень мощности.
4. Контроль исправности оборудования.
5. Контроль включения/выключения оборудования.
6. Контроль производительности оборудования.
7. Контроль над процессом в аварийных режимах.

Основная операция контроля состоит в том, что для каждого контролируемого параметра $x(t_i)$ в момент времени t необходимо проверять выполнение условия: $m_i \leq x_i(t) \leq M_i$, где $i = \overline{1, n}$ - число параметров, m_i - нижний допустимый предел изменения i -го параметра, M_i - верхний допустимый предел.

Все контролируемые параметры можно разбить на три группы:

1. Параметры, требующие непрерывного контроля.
2. Параметры, нуждающиеся в периодическом контроле.
3. Свободные показатели процесса.

Непрерывный контроль из-за дискретного характера процесса измерения в автоматических системах осуществить невозможно, так как встает вопрос о шаге дискретизации (период опроса).

Этот шаг должен выбираться из условия: $\max_t |x_i(t + T_0) - x_i(t)| < \varepsilon_i$.

Чтобы максимум изменения параметра на отрезке времени t_0 не превышало некоторой заданной положительной величины ε_i . С учетом этого условия непрерывного контроля сводится к проверке неравенства: $m_i + \varepsilon_i \leq x_i(jT_0) \leq M_i - \varepsilon_i$.

К параметрам, нуждающимся в периодическом контроле относятся такие параметры, для которых в некоторый момент времени допустим выход за установленные пределы. Для таких параметров на j - ом шаге контроля проверяется условие: $m_i \leq \overline{x_i(t_0 + jT_0)} \leq M_i$, где t_0 - усредненное значение за период времени jT_0 , T_0 - начало отсчета времени.

Свободные показатели процесса - это некоторые функции параметров, которые необходимо контролировать: $\Phi_p(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0$, $p = \overline{1, l}$. Обычно на практике свободные показатели требуют периодического контроля.

Контроль технологического процесса в нормальном режиме.

В зависимости от того к какой группе принадлежит технологический параметр проводится соответствующий контроль (непрерывный либо периодический).

В случае выхода за установленные пределы фиксируется время, номер параметра или соотношения, предел которого был нарушен и величина отклонения от предела со знаком «-». Кроме того оператор, ведущий процесс, должен иметь возможность проконтролировать текущее значение любого технологического параметра. Такой вид контроля называется контролем по запросу. Таким образом, контроль технологии в нормальном режиме сводится к определению значения величин и сравнению их величин с заранее установленными величинами (пределами).

Контроль качества выпускаемой продукции.

Данный вид контроля осуществляется теми же методами, однако в большинстве случаев показатели качества нуждаются в периодическом контроле.

Контроль процесса при выходе его на номинальный уровень мощности.

Основная задача состоит в обеспечении безопасности, поэтому предельные значения могут отличаться от предельного значения в нормальном режиме. Для этих целей используется специальная подпрограмма.

Контроль исправности оборудования.

При выходе из строя оборудования предусматривается ручное или автоматическое включение резервного оборудования.

Контроль включения/выключения оборудования осуществляется по дискретным сигналам, характеризующим текущее состояние оборудования. Например, при заполнении резервуара, он отключается и подключает пустые резервуары.

Контроль производительности оборудования осуществляется на основе технико - экономических показателей.

Контроль над процессом в аварийных режимах.

Предусматривается автоматическая сигнализация, защита и блокировка. Возможно распознавание аварийных ситуаций и автоматический вывод из такой ситуации.

III Цифровые регуляторы

Цифровые регуляторы можно реализовать аппаратно или программно.

Аппаратно: используются локальные регуляторы, которые выполняются в виде отдельного устройства с выносным или встроенным задатчиком, а также органами индикации и сигнализации.

Программно: функции формирования управляющего воздействия выполняют микропроцессорные устройства, которые способны реализовывать не только П, ПИ, ПИД законы, но и более сложные законы, обеспечивающие высокое качество. Также к достоинствам цифровых регуляторов можно отнести возможность изменения в процессе работы параметров настройки, а также закона регулирования. Программная реализация дешевле, чем аппаратная. К недостатком можно отнести, возможно, внештатные колебание регулируемой величины из-за дискретного характера изменения управляющего воздействия.

Цифровые регуляторы бывают двух видов.

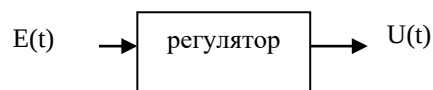
1. Параметрические оптимизируемые регуляторы - это регуляторы заданной структуры и в процессе синтеза меняются параметры.

При синтезе таких регуляторов задается структура (П, ПИД,) и определяются параметры обеспечивающие необходимые качества системы.

2. Структурно оптимизируемые регуляторы – регуляторы, которые в процессе синтеза могут менять как структуру, так и параметры, которые зависят от свойств объекта управления и свойств возмущающих воздействий.

Параметрические оптимизируемые регуляторы. Наибольшее распространение получили П, ПИ, ПИД регуляторы. Для реализации цифровых регуляторов необходимо знать разностное уравнение. Получить разностное уравнение можно с использованием дискретной передаточной функции и на основе дискретизации ДУ.

Получим разностное уравнение ПИД - регулятора, основываясь на дискретизации его уравнения. Уравнение аналогового ПИД - регулятора



$$U(t) = K_p [E(t) + 1/T_i \int E(t) dt + T_d \cdot dE(t) / dt] - \text{с зависимыми переменными}$$

$$U(t) = K_p [E(t) + 1/T_i \int E(t) dt + T_d \cdot dE(t) / dt] - \text{с независимыми переменными}$$

КП – коэффициент пропорциональности

ТИ – постоянная интегрирования

ТД - постоянная дифференцирования

} параметры настройки регулятора

Задача синтеза: определение этих параметров.

Заменяем производную разностью, интеграл суммой (используя метод прямоугольников):

$$U(k) = K_p [E(k) + T_0/T_i \cdot \sum_{i=0}^k E(i-1) + T_d/T_0 \cdot (E(k) - E(k-1))] \quad (2) \text{ (не рекур. алгоритм)}$$

На практике используют рекуррентный алгоритм, поскольку не рекуррентный требует большого объема ОЗУ и большого количества времени на определение суммы. Получаем рекуррентное уравнение ПИД-регулятора. Для этого запишем выражение для управляющего воздействия на k -ом шаге:

$$U(k) = K_p [E(k) + T_0/T_i \sum_{i=0}^{k-1} E(i) + T_d/T_0 (E(k) - E(k-1))] \quad (3)$$

Теперь необходимо произвести вычитание уравнений (2) - (3):

$$U(k) - U(k-1) = g_0 E(k) + g_1 E(k-1) + g_2 E(k-2);$$

$$g_0 = K_p (1 + T_d/T_0);$$

$$g_1 = -K_p (1 + 2T_d/T_0 - T_0/T_i);$$

$$g_2 = K_p T_d/T_0.$$

Получаем разностное уравнение ПИД – регулятора:

$$U(k) = U(k-1) + g_0 E(k) + g_1 E(k-1) + g_2 E(k-2).$$

Если для интегрирования использовать метод трапеции, то коэффициенты следующие:

$$g_0 = K_p (1 + 2T_0/T_i + T_d/T_i);$$

$$g_1 = -K_p (1 + 2T_d/T_0 - T_0/T_i);$$

$$g_2 = K_p T_d/T_0.$$

Для больших тактов управления рассмотренный способ дискретизации управление непрерывного регулятора является непрерывным. При этом можно получить неустойчивое разностное уравнение. В этом случае для дискретного представления регуляторов используется дискретная передаточная функция.

Обобщенная дискретная передаточная функция регулятора n -го порядка:

$$W_R(z) = \frac{g_0 + g_1 \cdot z^{-1} + g_2 \cdot z^{-2} + \dots + g_n \cdot z^{-n}}{1 - z^{-1}} = \frac{u(z)}{\varepsilon(z)},$$

Где $g_0 = K_p (1 + T_d/T_0)$, $g_1 = -K_p (1 + 2T_d/T_0 - T_0/T_i)$, $g_2 = K_p T_d/T_0$.

K_p - коэффициент пропорциональности

T_i - постоянная времени интегрирования

T_d - постоянная времени дифференцирования

} параметры настройки регулятора.

T_0 - такт управления.

Пусть $n=1$ - регулятор 1 порядка.

$$\text{ДПФ - } W_R(z) = \frac{g_0 + g_1 \cdot z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{u(z)}{\varepsilon(z)}, \text{ где } z = e^{pT_0}.$$

Получим разностное уравнение: $(1 - z^{-1})u(z) = (g_0 + g_1 \cdot z^{-1})\varepsilon(z);$

$$u(z) - u(z)z^{-1} = (g_0 + g_1 \cdot z^{-1})\varepsilon(z).$$

$z[f(k - \alpha)] = F(z)z^{-\alpha}$ по теореме о смещении $F(z) = z[f(k)]$ следует, что

$u(k) = u(k-1) + g_0 \varepsilon(k) + g_1 \cdot \varepsilon(k-1)$ - ПИ – регулятор 1 порядка.

Если $n=2$, то ПИД - регулятор 2 порядка.

$$\text{ДПФ} - W_R(z) = \frac{g_0 + g_1 \cdot z^{-1} + g_2 \cdot z^{-2}}{1 - z^{-1}} = \frac{u(z)}{\varepsilon(z)}, \text{ где } z = e^{pT_0}.$$

Получим разностное уравнение: $u(z)(1 - z^{-1}) = \varepsilon(z)(g_0 + g_1 \cdot z^{-1} + g_2 \cdot z^{-2})$;

$$u(k) = u(k-1) + g_0 \varepsilon(k) + g_1 \cdot \varepsilon(k-1) + g_2 \cdot \varepsilon(k-2) \text{ - ПИД - регулятор 2 порядка.}$$

Если $n=3$, то ПИДД₂ - регулятор 3 порядка.

$$\text{ДПФ} - W_R(z) = \frac{g_0 + g_1 \cdot z^{-1} + g_2 \cdot z^{-2} + g_3 \cdot z^{-3}}{1 - z^{-1}} = \frac{u(z)}{\varepsilon(z)}, \text{ где } z = e^{pT_0}.$$

Получим разностное уравнение:

$$u(z)(1 - z^{-1}) = \varepsilon(z)(g_0 + g_1 \cdot z^{-1} + g_2 \cdot z^{-2} + g_3 \cdot z^{-3}).$$

$$u(k) = u(k-1) + g_0 \varepsilon(k) + g_1 \cdot \varepsilon(k-1) + g_2 \cdot \varepsilon(k-2) + g_3 \cdot \varepsilon(k-3) \text{ - ПИДД}_2 \text{ -}$$

регулятор 3 порядка. Данный регулятор учитывает ускорение (скорость изменения скорости).

Разностное уравнение n - го порядка:

$$u(k) = u(k-1) + g_0 \varepsilon(k) + g_1 \cdot \varepsilon(k-1) + \dots + g_n \cdot \varepsilon(k-n).$$

Если $n=3$, то П - регулятор 0 порядка.

$$\text{ДПФ} - W_R(z) = g_0;$$

$$u(k) = g_0 \varepsilon(k).$$

Модифицированные ПИД - регуляторы

При резком изменении задающего воздействия, управляющее воздействие оказывается большим за счет Д-составляющей, что приводит к нежелательному росту величины регулирования.

Вернемся к разностному уравнению ПИД - регулятора:

$$U(k) = U(k-1) + K_n * (\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)) + (T_o/T_i) * \varepsilon(k-1) + (T_g/T_o) * (\varepsilon(k) - 2\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k-2))), \text{ где}$$

$(K_n * (\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)))$ - пропорциональная составляющая

$((T_o/T_i) * \varepsilon(k-1))$ - интегральная составляющая

$((T_g/T_o) * (\varepsilon(k) - 2\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k-2)))$ - дифференциальная составляющая

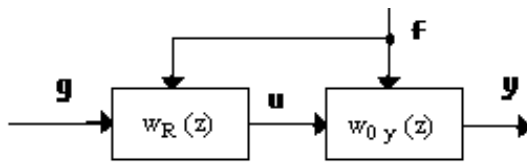
Устранить резкие изменения $U(k)$ можно путем использования в дифференциальной составляющей вместо $\varepsilon(k)$ величину $-y(k)$:

$$U(k) - U(k-1) = K_n * (\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)) + (T_o/T_n) * \varepsilon(k-1) + (T_g/T_o) * (-y(k) + 2y(k-1) - y(k-2)))$$

Дальнейшее уменьшение величины управляющего воздействия значения ошибки можно только в пропорциональной составляющей (замена ошибки на $y(k)$ в П - составляющей):

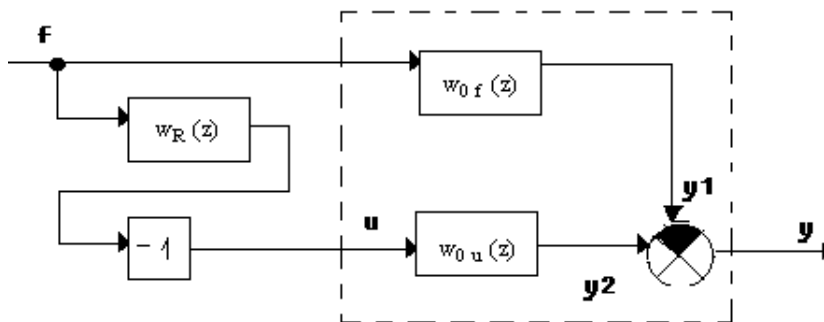
$$U(k) - U(k-1) = K_n * (y(k) - y(k-1)) + (T_o/T_n) * \varepsilon(k-1) + (T_g/T_o) * (-y(k) + 2y(k-1) - y(k-2)))$$

Структурно – оптимизируемые регуляторы



Если возмущающее воздействие, поступающее на объект управления можно измерить, то качество управления можно улучшить, если использовать регулятор с прямой связью (применяя разомкнутую систему). В таких системах одновременно с изменением возмущающего воздействия происходит изменение управляющего сигнала, что позволяет осуществить компенсацию действия возмущений до того, как они скажутся на изменении регулируемой величины y .

Рассмотрим САУ с нулевым задающим воздействием, т.е. выход необходимо стабилизировать на 0 уровне. Структура такой системы имеет вид:



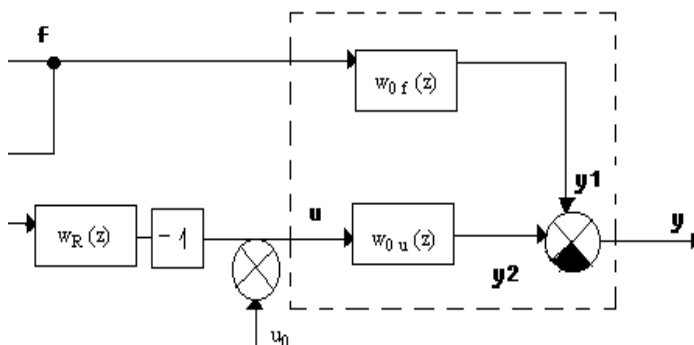
$W_{0f}(z)$ - ПФ ОУ по возмущению

$W_{0u}(z)$ - ПФ ОУ по управлению

Для того чтобы $y = 0$ необходимо чтобы $y_1 = y_2$. Для обеспечения этого необходимо:

$$W_R(z) \cdot W_{0u}(z) = W_{0f}(z) \text{ следовательно: } W_R(z) = \frac{W_{0f}(z)}{W_{0u}(z)}$$

В тех случаях, когда необходимо обеспечить $y \neq 0$ используется следующая система:



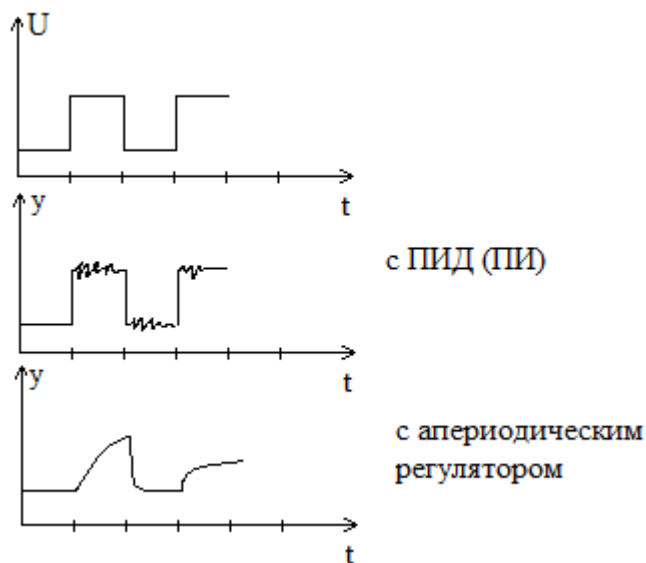
Постоянное управляющее воздействие U_0 обеспечивает требуемое значение выхода на y .

Все отклонение от этого значения будут компенсироваться регулятором в зависимости от возмущений.

$$W_{0u}(z) = \frac{k_0}{T_0 p + 1} \cdot \frac{y(p)}{U(p)} \Rightarrow y(\infty) = k_0 \cdot U_0.$$

Апериодический регулятор

В отличие от непрерывных, цифровые регуляторы позволяют устранять внештатные колебания, то есть установить заданное качество управления только в тактовые моменты времени. Между тактами могут возникать колебания регулируемой величины:



Устранить внештатные колебания можно путем обеспечения апериодического характера переходного процесса.

Пусть $W_0(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}}$, тогда апериодический характер будет

обеспечиваться регулятором: $W_R(z) = \frac{g_0 + g_1 z^{-1} + g_2 z^{-2} + \dots + g_m z^{-m}}{1 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + \dots + p_m z^{-m}}$.

$$g_0 = \frac{1}{b_1 + b_2 + \dots + b_m};$$

$$g_1 = a_1 g_0; \quad p_1 = b_1 g_0;$$

$$g_2 = a_2 g_0; \quad p_2 = b_2 g_0;$$

...

...

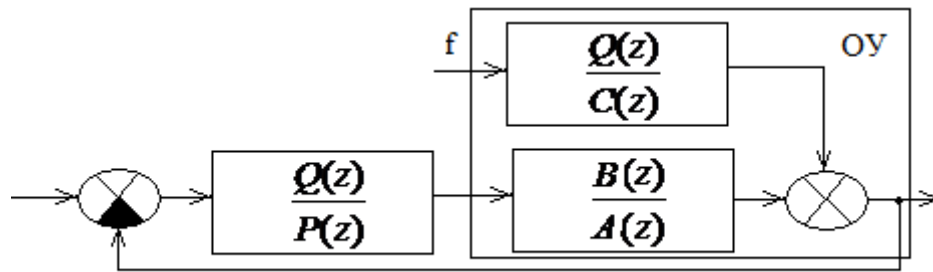
$$g_m = a_m g_0. \quad p_m = b_m g_0.$$

Регуляторы с минимальной дисперсией

Данный вид регуляторов осуществляют расчет параметров, который основан на минимизации дисперсии регулируемой переменной, то есть на минимизацию критерия:

$$I = M(y^2(k+1) + rU^2(k)), \text{ где } r - \text{некоторый весовой коэффициент.}$$

Такие регуляторы используются в тех случаях, когда возмущающие воздействие носят случайный характер.



Пусть $W_{ou}(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_m z^{-m}}$,

$W_{of}(z) = \frac{D(z)}{C(z)} = \frac{1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} + \dots + d_m z^{-m}}{1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots + c_m z^{-m}}$.

ПФ регулятора: $W_R(z) = \frac{Q(z)}{P(z)} = \frac{A(z)[D(z) - C(z)] \cdot Z}{Z \cdot B(z) \cdot C(z) + \frac{r}{b_1} \cdot A(z) \cdot D(z)}$.

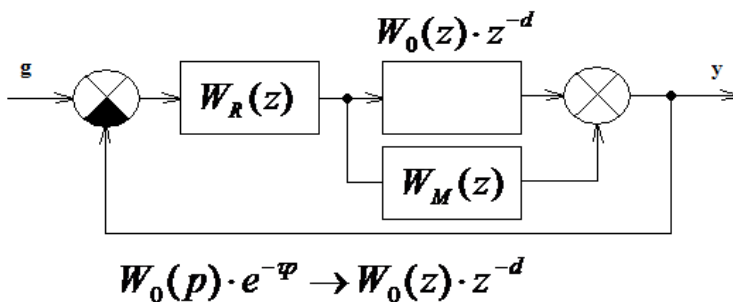
Регулятор с предвидением

Регуляторы с предвидением используются для управления объектами с большим запаздыванием, т.е. для управления объектами, имеющими ПФ: $W_{OY}(p) = W_0(p) \cdot e^{-\tau p}$.

При больших τ обычные параметрически – оптимизированные регуляторы не обеспечивают устойчивость.

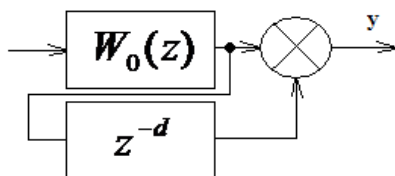
При переходе к дискретной ПФ определяем величину $d = \frac{\tau}{T_0}$, где d – число тактов запаздывания.

На практике используются регуляторы Ресвика и Смита. Получим структуру регулятора Смита:

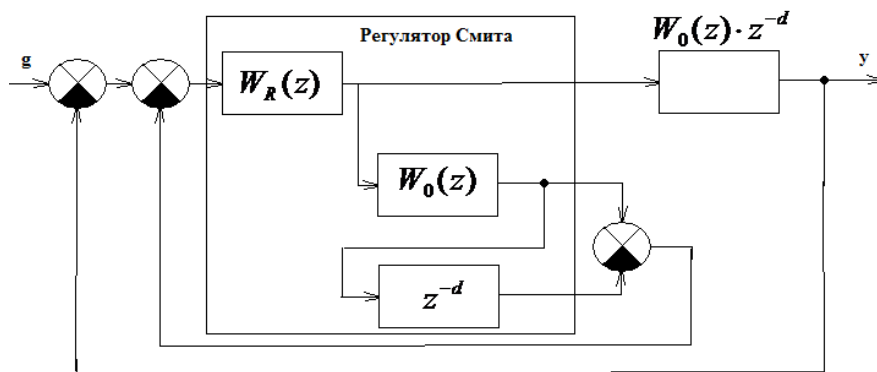


Условие исключения запаздывания имеет вид: $W_0(z) \cdot z^{-d} + W_M(z) = W_0(z)$.

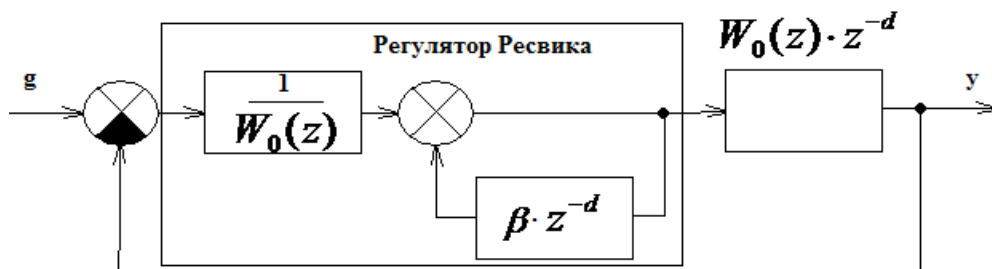
Из этого условия следует, что $W_M(z) = W_0(z)(1 - z^{-d})$. Этой ПФ соответствует:



Таковыми же свойствами обладает система со структурой: регулятор Смита



Структурная схема САУ с регулятором Ресвика:



Необходимы вычисления, поэтому ранее не использовались. Сейчас, когда есть контроллеры, используются чаще. Параметр настройки: $0 \leq \beta \leq 1$. Особенность регуляторов с предвидением в том, что они плохо работают, когда модель объекта определена не точно или свойства меняются с течением времени.

Цифровые регуляторы состояния

Важную роль в современной теории управления играет метод пространства состояний.

Пусть объект управления: $W_0(p)$.

После замены производной разностями в ДУ ОУ и поясним:

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y(k) - y(k-1)}{\Delta t};$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{\Delta^2 y}{\Delta t^2} = \frac{y(k) - y(k-1)}{\Delta t^2} = \frac{y(k) - y(k-1) - y(k-1) + y(k-2)}{\Delta t^2} = \frac{y(k) - 2y(k-1) + y(k-2)}{\Delta t^2};$$

....

$$\frac{d^n y(t)}{dt^n} = \frac{\Delta^n y}{\Delta t^n} = \frac{\Delta^{n-1} y(k) - \Delta^{n-1} y(k-1)}{\Delta t^n}.$$

Получим разностное уравнение:

$$y(k+n) + a_1 y(k+n-1) + \dots + a_n y(k) = b_0 u(k+n) + b_1 u(k+n-1) + \dots + b_n u(k).$$

Введем новые переменные, которые назовем переменные состояния:

$$\begin{cases} y(k) = x_1(k) \\ y(k+1) = x_2(k) = x_1(k+1) \\ y(k+2) = x_3(k) = x_2(k+1) \\ \dots \\ y(k+n-1) = x_n(k) = x_{n-1}(k+1) \\ y(k+n) = x_{n+1}(k) = x_n(k+1) \end{cases}$$

После подстановки новых переменных в разностное уравнение ОУ и приняв $b_n = 1$, а

$b_1 = b_2 = b_3 = \dots = b_n = 0$, получим

$y(k + n) = x_n(k + 1) = -a_1 x_n(k) - a_2 x_{n-1}(k) - \dots - a_n x_1(k) + 1 \cdot u(k)$ - уравнение можно

представить в форме векторного разностного уравнения:

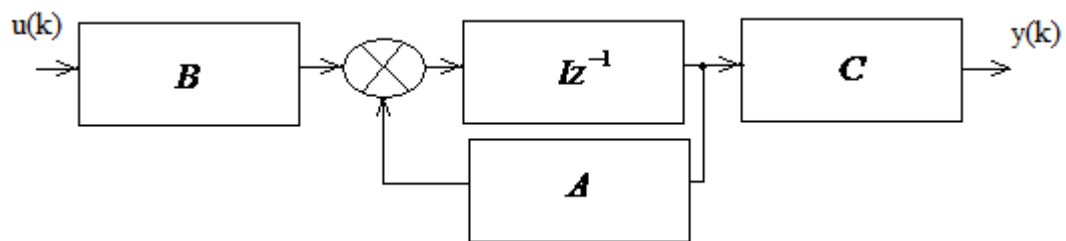
$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ \dots \\ x_{n-1}(k+1) \\ x_n(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n+1} & -a_{n+2} & \dots & -a_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \dots \\ x_{n-1}(k) \\ x_n(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix} \cdot U(k) \text{ - Уравнение входа}$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \dots \\ x_{n-1}(k) \\ x_n(k) \end{bmatrix} \text{ - Уравнение выхода}$$

Или тоже самое в компактном виде: $x(k+1) = A \cdot x(k) + B \cdot u(k)$, где $y(k) = C \cdot x(k)$

A – матрица системы, B – вектор передачи управления, C – вектор наблюдения.

Структурная схема ОУ в пр-ве состояний имеет вид:



$$Iz^{-1} = \begin{bmatrix} z^{-1} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & z^{-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & z^{-1} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & z^{-1} \end{bmatrix}$$

Теорема о смещении, каждая переменная задерживается на один такт.

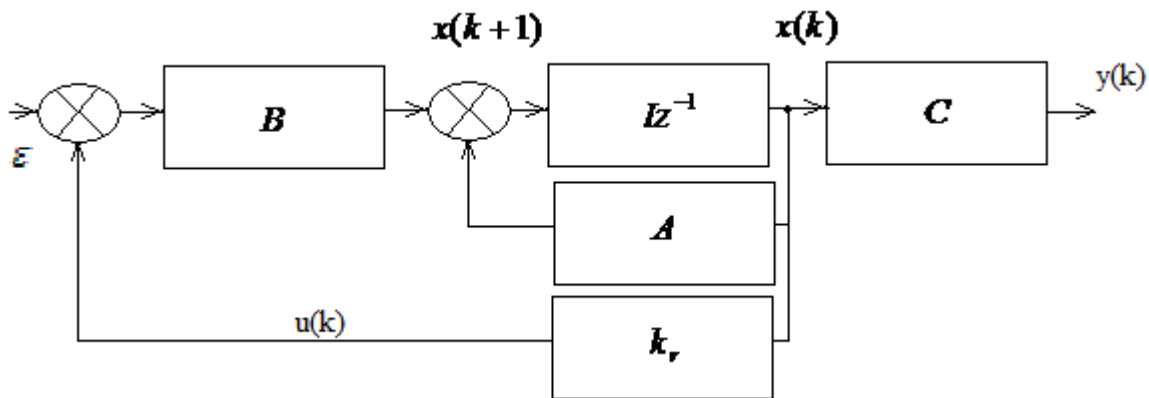
ПФ ОУ может быть представлена следующим образом:

$$W_0(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = C[Iz - A]^{-1} = \frac{E(z)}{\det[Iz - A]}.$$

Характеристическое уравнение объекта управления: $\det[Iz - A] = 0$.

Если корни уравнения вышли за единичную окружность, следовательно, система неустойчива.

Структура системы с регулятором состояния имеет вид:



$$k_r = |k_{r1}, k_{r2} \dots k_{rn}|$$

$$u(k) = k_{r1} \cdot x_1(k) + k_{r2} \cdot x_2(k) + \dots + k_{rn} \cdot x_n(k), \text{ где } k_r - \text{регулятор состояния.}$$

Приведем параметры регулятора состояния для системы с нулевым задающим воздействием.

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) \\ \text{Пусть задано уравнение ОУ в пространстве состояния:} \quad x(0) &= x_0 \end{aligned}$$

Задача состоит в построении регулятора, формирующего такой вектор управляющих переменных состояния $u(k)$, которые переводит систему состояния $x(N)=0$ и минимизирует критерий качества.

$$I = \left[x^T(n) \cdot S \cdot x(n) + \sum_{k=0}^{n-1} (u^T(k) \cdot R \cdot u(k) + x^T(k) \cdot Q \cdot x(k)) \right] \rightarrow \text{минимизировать}$$

S, Q, R – матрицы весовых коэффициентов

Уравнение данного регулятора имеет вид:

$$u(k) = -k_r \cdot x(k)$$

$$\text{где } k_r = (R + B^T \cdot \bar{p} \cdot B)^{-1} \cdot B^T \cdot \bar{p} \cdot A$$

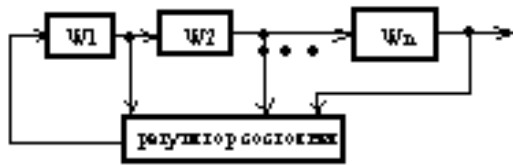
$$\bar{p} = A^T \cdot Q \cdot [I - B \cdot (B^T \cdot Q \cdot B + R)^{-1} \cdot B^T \cdot Q] \cdot A$$

I – единичная матрица

Характеристическое уравнение данной системы имеет вид: $\det[I \cdot z - A + B \cdot k_r] = 0$.

В обычной замкнутой системе автоматизированного управления управляющее воздействие формируется по величине ошибки, которая определяет текущее значение выхода объекта управления. В системе с регулятором состояния при формировании управляющего воздействия кроме значения выхода объекта учитываются и другие переменные состояния, то есть используется больший объём информации о состоянии ОУ по сравнению с системой, построенной на базе параметрически-оптимизируемых регуляторов, поэтому качество таких систем выше.

Если ОУ представляет собой цепочку последовательно соединённых частей, то в качестве переменных состояния можно принять выходную координату $y(k)$ и промежуточные коэффициенты или переменные x_1, x_2, x_3 .



$$x_1(k) = y(k)$$

$$x_2(k) = y(k + 1)$$

$$x_3(k) = y(k + 2)$$

...

Выбор переменных состояний не однозначен.

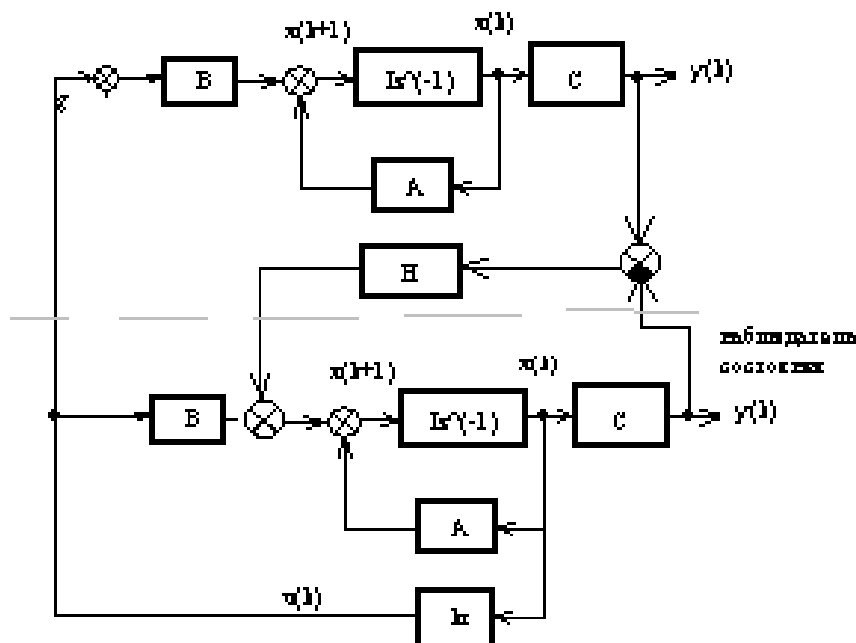
Регулятор состояния с наблюдателем состояния

Поскольку все переменные состояния x_k для большинства объектов не могут быть непосредственно измерены, их определяют с использованием измеренных величин, т.е. с использованием наблюдателя состояния.

Рассмотрим динамический объект:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A \cdot x(k) + B \cdot u(k) \\ y(k) &= C \cdot x(k) \end{aligned}$$

Предположим, что в ОУ точно может быть измерен только $u(k)$ и $y(k)$, все остальные величины являются неизменяемые. Включим параллельно объекту модель, имеющую такую же структуру.



Сигнал коррекции состояния $\Delta x(k)$ формируется путём введения ОС по сигналу ошибки $\varepsilon(k) = y(k) - \hat{y}(k)$ умножаемому на матрицу H (наблюдатель Льюинберга).

Данная матрица выбирается таким образом, чтоб вектор состояния модели $\Delta x(k)$ сходил к истинному значению $x(k)$ при $k \rightarrow \infty$: $\det[I \cdot z - A + H \cdot C] = 0$. Итерационный процесс настройки наблюдателя осуществляется по формуле $x(k+1) = A \cdot x(k) + B \cdot u(k) + H \cdot \varepsilon(k)$.

Наблюдатель вводится в систему для наблюдения за состоянием данной системы.

Наблюдатель – модуль объекта управления с тем же задающим воздействием и дополнительным

сигнал коррекции, определяющимся как разность между выходом ОУ и выходом наблюдателя.
Вводится когда сложно оценить векторы состояния объекта.

Модальные регуляторы состояния

Особенностью таких регуляторов является то, что модель определяется по заданным корням характеристического уравнения.

Пусть имеем объект: $x(k+1) = A \cdot x(k) + B \cdot u(k)$. Используем преобразование $x_t(k) = T \cdot x(k)$
 $y(k) = C \cdot x(k)$

Матрица преобразования Т определяется из условия:

$$A_t = T \cdot A \cdot T^{-1} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix} = \lambda$$

Получим $x_t(k+1) = A_t \cdot x_t(k) + B_t \cdot U(k)$,

$y(k) = C_t \cdot x_t(k)$, где $B_t = T \cdot B$, $C_t = T \cdot C$.

В этом случае $\det[I \cdot z - \lambda] = 0$, то есть $\det[I \cdot z - \lambda] = (z - \lambda_1) \cdot (z - \lambda_2) \dots (z - \lambda_m) = 0$.

Заменив $U(k) \rightarrow U_t(k) = B_t^{-1} \cdot U(k)$, получаем

$x_t(k+1) = \lambda x_t(k) + u_t(k)$.

Сформулируем управление в виде ОС: $u_t(k) = -k_t \cdot x_t(k)$, тогда

$x_t(k+1) = \lambda x_t(k) - k_t \cdot x_t(k) \Rightarrow x_t(k+1) = [\lambda - k_t] \cdot x_t(k)$

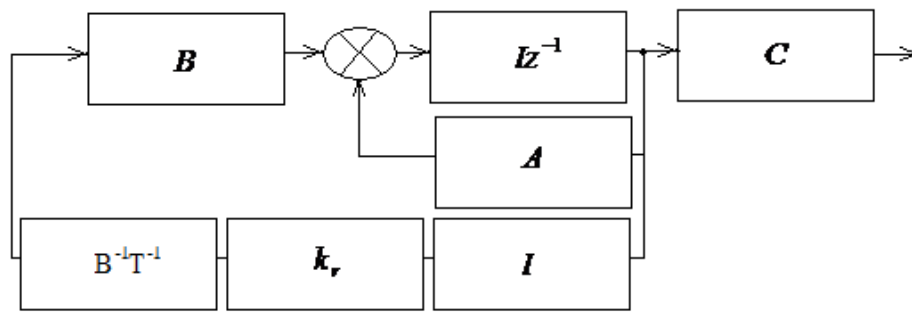
Если принять $k_t = \begin{bmatrix} k_{t1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k_{t2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & k_{tm} \end{bmatrix}$, то результирующее характеристическое уравнение

замкнутой системы имеет вид: $\det[I \cdot z - (\lambda - k_t)] = (z - (\lambda_1 - k_{t1})) \cdot (z - \lambda_2 k_{t2}) \dots (z - \lambda_m k_{tm}) = 0$.

Это позволяет задать требуемые корни характеристического уравнения.

Переход к новым переменным: Если принять $k_{t1} = \lambda_1 \dots k_{tm} = \lambda_m$ тогда корни $z_1 = z_2 = \dots = z_m = 0$, то есть будет обеспечен максимальный запас устойчивости. Осуществить связь между ОУ и параметрами путем приравнивания уравнения желаемого и действительного $\rightarrow$ получаем параметры регуляторы.

Структурная схема модального регулятора имеет вид:



T – модальный анализатор

k_r – модальный регулятор

$(B^{-1}T^{-1})$ – модальный синтезатор

Цифровые корректирующие устройства

Корректирующие устройства (КУ) используются для увеличения запаса устойчивости или для обеспечения устойчивости неустойчивых систем, и как средство достижения требуемого качества управления. Для повышения запаса устойчивости используются дифференциальные звенья, особенность которых заключается в положительном фазовом сдвиге, т. е. ФЧХ располагается в положительной области.

Для коррекции линейных САУ применяют интегрирующие, дифференцирующие, апериодические, интегро-дифференцирующие звенья, колебательные звенья и НКУ.

Рассмотрим наиболее распространенные КУ:

1. Интегрирующее устройство (звено):

$$W(p) = 1/p;$$

Для перехода к ДПФ также воспользуемся приближенным соотношением:

$$W(z) = \frac{T_0}{2} \cdot \frac{z+1}{z-1}, \text{ также помножим на } z^{-1} \rightarrow W(z) = \frac{T_0 z^{-1} + T_0}{2 - 2z^{-1}} = \frac{y(z)}{x(z)};$$

$$2(1 - z^{-1})y(z) = (T_0 + T_0 z^{-1})x(z)$$

$$\rightarrow y(k) = \frac{2y(k-1) + T_0 x(k) + T_0 x(k-1)}{2}.$$

Интегрирующие звенья используются для повышения точности за счет повышения степени астатизма.

2. Дифференцирующее звено:

$$W(p) = p;$$

Получим разностное уравнение этого звена. Для этих целей будем использовать

приближенное соотношение: $p \approx \frac{2}{T_0} * \frac{z-1}{z+1}$, где T_0 - такт управления $\rightarrow W(z) = \frac{2}{T_0} * \frac{z-1}{z+1}$.

Для получения физически реализуемого разностного уравнения, умножим числитель и

знаменатель на $z^{-1} \rightarrow W(z) = \frac{2(1 - z^{-1})}{T_0(1 + z^{-1})} = \frac{y(z)}{x(z)}$.

Получаем разностное уравнение по теореме о смещении.

$$y(z)(T_0 + T_0 z^{-1}) = x(z)(2 - 2z^{-1});$$

$$y[k] = \frac{-T_0 y[k-1] + 2x[k] - 2x[k-1]}{T_0}.$$

Дифференцирующими свойствами обладает звено с ДПФ: $W(z) = \frac{(1+a)(1-z^{-1})}{T_0(1+az^{-1})}$.

Корректирующие звенья могут вводиться в систему регулирования последовательно, параллельно, в виде местной обратной связи.

Применяется для повышения запаса устойчивости, устойчивость повышается за счет положительного фазового сдвига.

3. Апериодическое звено:

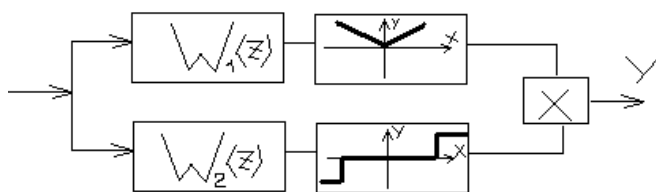
$$W(p) = 1/Tr + 1;$$

Разностное уравнение этого звена, полученное в цифровых фильтрах:

$$y[k] = \gamma x[k] + (1 - \gamma)y[k-1].$$

Рассмотренные линейные корректирующие устройства имеют существенный недостаток: при изменении параметров КУ меняется одновременно АЧХ и ФЧХ. Получив требуемую АЧХ можно получить нежелательную ФЧХ и наоборот. Этого недостатка нет у псевдолинейных КУ.

Рассмотрим двухканальное псевдолинейное КУ.

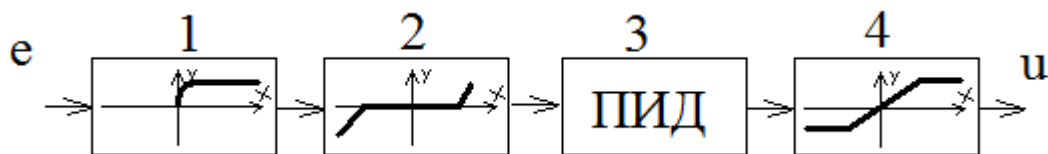


Верхний канал – амплитудный, формирует требуемую АЧХ. $W1(z)$ соответствует апериодическому звену. Нижний канал – фазовый, формирует требуемую ФЧХ. $W2(z)$ соответствует дифференцирующему звену.

Выходные сигналов перемножаются и результирующий сигнал поступает на вход регулятора. Считается последовательным.

Наряду с линейными КУ в современных АСУ ТП широко используются нелинейные.

Например, в Р-130 при формировании управляющего воздействия используются как линейные так и не линейные.



1 – аperiодическое звено (для фильтрации)

2 – звено с зоной нечувствительности

Используется для устранения колебаний регулируемой величины при ошибках близких к нулю ($y=kx$, $|x|<b$, $y=B$, $|x|>b$, $k=\text{tg альфа}$).

3– ПИД – регулятор

4 – звено с насыщением

Это звено включается в цепь формирования управляющего воздействия для его ограничения ($y=kx$, $|x|>b$, $y=0$, $|x|<b$).

Выбор такта управления в цифровых системах

Выбор такта управления является весьма важным этапом синтеза цифровой системы управления, т.к. от его значения существенно зависит качество системы управления. Чем меньше такт управления, тем выше качество САУ. Однако при очень малых тактах дальнейшее улучшение качества достигается лишь при существенном возрастании вычисленных затрат при управлении.

Выбор такта производится не только исходя из условий достижения требуемого качества. При этом учитываются следующие факторы:

1. Динамика
2. Спектр возмущающих воздействий
3. Динамика ИУ
4. Вычислительные затраты.

1) Динамика ОУ характеризуется постоянной времени в ПФ. Для обеспечения эффективности управляющих воздействий принимают:

А) $T_0=(0.1 \div 1)T$, где T – доминирующая постоянная времени ОУ, либо

Б) $T_0=(6 \div 15)t_{nn}$, где t_{nn} – время переходного процесса

В) Если выбор T_0 осуществляется с учетом частотных свойств ОУ, то $T_0 < \frac{\pi}{\omega_T}$, где ω_T – граничная частота пропускания сигнала ОУ. Эта частота выбирается из условия: $F(\omega_T)=0.1 \div 0.01$

2) Рассматривается зависимость T_0 от спектра возмущающих воздействий. Если возмущающее воздействие вплоть до частоты ω_{MAX} необходимо отработать, то такт управления выбирается из условия $T_0 < \frac{\pi}{\omega_{MAX}}$, что соответствует теореме Шеннона.

3) Необходимость учета динамики ИУ обусловлена следующим обстоятельством: если исполнительное устройство обладает значительной инерционностью, то не следует выбирать

слишком маленький T_0 , т.к. может оказаться, что предыдущий сигнал управления может оказаться неотработанным к моменту прихода следующего сигнала.

4) Для минимизации вычислительных затрат или стоимости каждого контура управления, такт управления следует выбирать как можно больше, но не стоит забывать что от него зависит качество системы управления.

IV Техническое обеспечение АСУ ТП

В этом разделе будут рассматриваться промышленные микропроцессорные контроллеры.

Особенности контроллера Кросс

1. Наличие интеллектуальной подсистемы ввода – вывода. Модули ввода – вывода имеют собственные микропроцессоры, которые позволяют:
 - a. Повысить производительность и уменьшить время цикла за счет сокращения нагрузки на центральный процессор (ЦП).
 - b. Повысить надежность за счет непрерывной самодиагностики, реализуемой в модулях ввода – вывода.
 - c. Повысить живучесть АСУ ТП за счет децентрализации и автономного управления различных функций.
2. Соответствие международным стандартам по программному обеспечению (используются системы реального времени, OS-9), по языкам программирования, соответствующим международному стандарту IEC 61131 – 3. Языки данного стандарта:
 - a. FBD – Function Block Diagram.
 - b. ST – Structured Text.
 - c. LD - Ladder Diagram.
 - d. IL - Instruction List.
 - e. SFC - Sequential Function Chart.

Программирование осуществляется с помощью пакета Isagraf.

3. Высокая надежность обеспечивается:
 - a. Использованием элементной базы ведущих зарубежных фирм.
 - b. Использованием высоконадежного ПО (Isagraf).
 - c. За счет внутримодульной диагностики.
 - d. За счет защиты выхода модулей УСО от короткого замыкания.
 - e. За счет возможностей резервирования модулей УСО.
 - f. За счет возможностей «горячей» замены модулей УСО.

Назначение

Контроллер предназначен для общепромышленного применения в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности - энергетической, металлургической, химической, нефте- и газодобывающей, машиностроительной, сельскохозяйственной, пищевой и т.д. Может использоваться также в качестве автономных средств управления объектами малой и средней скорости.

Наличие сертификата для использования при автоматизации взрывопожароопасных объектов. Является средством измерения.

Функции

- Измерение сигналов, поступающих от датчиков.
- Первичная обработка сигналов.
- Регулирование.
- Выполнение функциональных преобразований (математических, динамических, логических и других).
- Хранение программ во flash – памяти и в энергонезависимом ОЗУ.
- Реализация функции сигнализации и защиты.
- Программно – логическое управление.

Состав

Контроллер имеет проектно – компоновочный состав.

1. Базовый монтажный блок.

В этот блок устанавливается микропроцессорный модуль, submodule Ethernet, модули интерфейсной связи ИСК 1 (для связи с модулями УСО) и модуль питания.

2. Модули ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.

3. Терминальные блоки, предназначенные для подключения входных и выходных сигналов к модулям УСО.

4. Гибкие соединители (плоские кабели).

Модули УСО

Контроллер может иметь следующие модули:

- ТС1-7 – предназначен для работы с термопарами (имеет 7 входов для подключения термопар и 1 вход для термосопротивления, для учета температуры свободных концов). Типы термопар: ТХА, ТХК, ТВР, ТПП, ТПР, ТЖК, ТМК.
Максимальная погрешность: 0.8 – 3.5 °С.
- TR1-8 – предназначен для работы с термосопротивлениями (ТМ100, ТСМ50, ТСП50).
Максимальная погрешность: 0.3 – 0.5 °С.
- AI1-8 – аналоговый вход аналоговых сигналов.
Типы сигналов: напряжение: 0 – 10 В; ток: 0 – 5 мА, 0 – 20 мА, 4 – 20 мА.
Максимальная погрешность: ±0.2%.
- AIO1-8/0, AIO1-8/4 – аналоговый ввод, без вывода и аналоговый ввод/вывод соответственно. Имеются модули ввода/вывода только токовых сигналов.
- AIO1-0/4, AIO1-0/8 – аналоговый ввод/вывод.

Функциональные и технические характеристики

1. Контроллер позволяет реализовать информационный обмен с другими контроллерами и компьютерами через локальную сеть Ethernet (наличие ModBus), а также с компьютерами через последовательный RS232, а также обслуживает сопряжение контроллера с различными SCADA-системами посредством OPC - сервера.

2. В контроллере используется многозадачная ОС OS-9 реального времени, обеспечивающая:

- a) гарантированное время реакции на программные и аппаратные прерывания. Система работает в режиме жесткого реального времени;
- b) многозадачность;
- c) надежную файловую систему;
- d) наличие службы времени;
- e) развитую сетевую поддержку и другие механизмы реального времени.

3. Объем памяти Flash – 1 мБ, ОЗУ – 1,5мБ. Часы РВ – сек, мин, час, года.

4. Важной характеристикой является быстродействие – более 0.01 с. Время сохранения технологической программы при отключении питания – 5 суток.

5. Интерфейсы:

- a) 2*RS232. Главный интерфейс поддерживает обмен – «полный модем» (сеть). Подключение через разъем RJ 45.
- b) Ethernet – протокол TCP/IP, скорость обмена 10 Мбайт, гальваническая изоляция, тип разъема RJ 45.
- c) SPI – выполняет обмен между модулями ЦБ (центрального блока) и модулями УСО (устройств связи с объектами, то же самое что модули ввода/вывода). 2 интерфейсных канала в модуле ИСК – связь модулей УСО с центральным процессором. Скорость обмена с частотой 1МГц, тип разъема IDC на 10 контактов, гальваническая изоляция отсутствует.

6. Базовый микропроцессор фирмы Motorola MC68302, являющийся стандартом для промышленных средств автоматизации.

7. Технологические и процедурные языки программирования: система IsaGraf, которая соответствует международному стандарту МЭК 1131-3.

8. Программирование контроллера осуществляется с помощью системы ISaGRAF, которая состоит из исполнительной части, которая загружается в контроллер WorkBench и функциональной, которая устанавливается на компьютере. Данная система содержит следующие языки программирования: FBD, язык релейной логики (LD), ST, IL, язык управляющих последовательностей (SFC). Язык функциональных блоков может быть расширен библиотекой алгоритмов P-130. Также в состав ПО входит конфигуратор, который выступает в роли эмулятора пульта настройки.

9. Контроллер состоит из базового блока и модулей ввода-вывода. Модули ввода-вывода обеспечивают ввод унифицированных сигналов постоянного тока и напряжения, ввод сигналов с термопар и термосопротивлений, ввод и вывод дискретных сигналов и вывод аналоговых сигналов постоянного тока и напряжения. Модули ввода-вывода являются интеллектуальными (микропроцессорными). ПО модулей обеспечивает предварительную обработку сигналов (фильтрацию, линеаризацию, АГД), широтно-импульсное модулирование вых. сигналов, а также установку выходов в заданное состояние в аварийных ситуациях. Наличие микропроцессоров в

модулях ввода-вывода увеличивает скорость обработки информации. В состав базового модуля входит центральный блок (микропроцессорный), сетевой субмодуль (Ethernet), модуль SPI, обеспечивающий внутрисистемный обмен информацией, модуль питания, портативный пульт настройки, пульт технолога-оператора.

Интерфейс RS232 модуля используется для прямого подключения к компьютеру. При этом можно осуществить диагностику неисправности модуля, установить номер контроля для организации обмена. Обратиться к модулю можно напрямую через центральный процессор и реализовать те же самые функции. Для связи с функциями используются специальная сервисная программа, которые называются конфигуратор.

Кроме перечисленных функций, конфигуратор предлагает включить или выключить дискретные фильтры, контролировать дискретные входные/выходные сигналы. В модулях ввода сигнала с термосопротивлений и термопар устанавливается специальная градуировка.

Особенности контроллера Кросс - 500

Кросс 500 является развитием контроллера Кросс, и также предназначен для построения локальных автономных систем автоматизации. Отличия между контроллерами следующие:

1. Используется другой центральный процессора фирмы.
2. Кросс – 500 обладает большим количеством интерфейсов - Ethernet, RS232, RS485, SPI.
3. Наличие возможности подключения микроконтроллеров из станции удаленного ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов по интерфейсу RS485.
4. Использование модулей VCO, разработанных для контроллера Кросс.

Назначение

Контроллер предназначен для создания АСУ ТП в различных отраслях промышленности, может применяться для автоматизации взрывопожароопасных производств, является средством измерения.

Состав

Проектно-компонованный контроллер. В состав могут входить следующие блоки и модули:

1. БЦП предназначен для организации и управления вычислительными процессами в реальном времени, исполнения технологической программы пользователя (ТПП).
2. Модули ввода – вывода постоянного состава (дискретные (DI1-16, DIO1-8/8), аналоговые (TC1-7, AI1-8, AIO1-8/4)) и проектно-компонованного состава (ADIO1, AIO2). Проектно – компонованного состава имеет в виде, что к БЦП могут подключаются удаленные модули ВВ аналоговых и дискретных сигналов: ADIO1 (через RS485), аналоговый AI02. Эти модули имеют по 8 ячеек ВВ.
3. Микроконтроллер программируемый МК1 выполняет все функции МВВ, а также различные дополнительные функции управления: исполнение ТПП, обмен с МВВ и верхним уровнем

4. Терминальные блоки (для ввода сигналов объекта управления), соединения гибкие (для соединения ТБ и MBV), блок и модули питания, блок переключения БПР-10 (для контактного переключения до 8 аналоговых или дискретных сигналов);
5. Пульт настройки PN1(для наладки, настройки и конфигурирования модулей) и панель оператора.

Технические характеристики

1. Центральный процессора Intel i486 Dx 4-100, не требует охлаждения, что повышает надежность. ОЗУ 256 кб, энергонезависимость, используется для хранения базы данных и регистрации событий. Динам. Память 4 мБ для исполнения программ. Flash диск – 32мБ.
2. Интерфейсы -
 - a. 1* Ethernet для организации контроллерной сети и связи с диспетчерской станцией через OPC – сервер и с инженерной станцией (через программный пакет «Конфигуратор»);
 - b. 3* RS232 для резервирования, подключения панели оператора (для настройки), для связи с диспетчером и инженерном станцией;
 - c. SPI для подключения модулей УСО (ВВ) по заказу;
 - d. RS485 до 4 штук по заказу для подключения модулей УСО (ВВ) и микроконтроллеров.

Функции модулей: прием и преобразование в цифровую форму сигналов датчиков, первичная обработка инфо (фильтрация, линеаризация, АГД), выдача запросов БЦП инфо о состоянии модулей и значения входов, выходов отдельных ячеек, настройка модулей (калибровка), класс точности не менее 0,1.

Количество каналов зависит от построения и компоновки модулей до 1920.

Состав – модули и микропроцессор могут компоноваться следующими ячейками:

1. Аналоговый ввод 1: AI1 – один канал аналоговый ввод.
Сигналы: 0 – 5 мА, 0 – 20 мА, 4 – 20 мА. Двухполярные: $\pm 0 - 5$ мА, $\pm 4 - 20$ мА, $\pm - 20$ мА. Однополярные: 0 – 10 В. Двухполярные: $\pm 0 - 10$ В. Время преобразования не более 60мс.
2. Аналоговый ввод 2: AI2 – однополярный токовый ввод.
Сигналы: 0 – 5 мА, 0 – 20 мА, 4 – 20 мА. Однополярные: 0 – 10 В. Время преобразования не более 2мс.
3. Аналоговый ввод 3: AI3 – 4 канальный токовый ввод, однополярные и двухполярные.
Напряжения нет. Время преобразования не более 120мс.
4. Аналоговый вывод 1: AO1 – одноканальный аналоговый вывод, выходные токовые однополярные сигналы. Время преобразования не более 20мс.
5. Аналоговый вывод 2: AO1 – двухканальный аналоговый вывод, выходные токовые однополярные сигналы. Время преобразования не более 20мс.
6. ТСК – 1 канал для ввода напряжения низкого уровня (для подключения термопар). $\pm 0-35$ мВ ... 0-2240мВ. Время преобразования не более 60мс.

7. TR1 - 1 канал для подключения термосопротивления. Ввод трехпроводный R (0 - 50) Ом ... (0 – 400) Ом.
8. TR2 - 1 канал для подключения термосопротивления. Ввод четырехпроводный.
9. TR3 - 2 канал для подключения термосопротивления. Ввод четырехпроводный.

При работе БЦП (модуля и МК1) запрос информации осуществляется по адресу модулей и номеру ячейки.

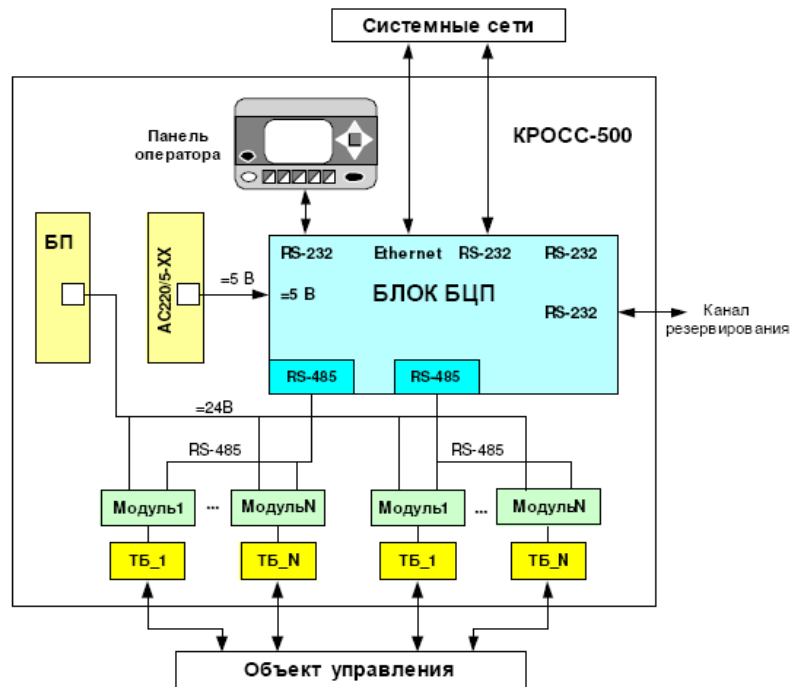
Типовые структуры АСУ ТП, построенных на базе контроллеров КРОСС - 500

Поскольку контроллер является проектно-компонуемым устройством, поэтому он не имеет базового состава и может функционировать в рамках как процессорных, так и микроконтроллерных структур.

В типовом случае контроллер имеет процессорную структуру, т.е. в качестве блока, исполняющего основной алгоритм и управляющего всеми остальными компонентами системы, используется блок БЦП. При этом в составе контроллера могут быть микроконтроллер (МК1), параллельно исполняющие технологические программы пользователя со своими локальными задачами и обменивающиеся данными с БЦП. Это позволяет повысить динамику и надежность системы, а также сократить информационный обмен между БЦП и МК1.

МК1, в свою очередь, также может иметь собственные модули ввода-вывода. Процессорная структура контроллера, включающая две полевые сети на основе шины RS-485. Применение резервирования повышает надежность систем автоматизации на базе контроллеров. Различные варианты резервирования аппаратных средств, наличие нескольких видов сетевых каналов дают возможность реализовать различные конфигурации контроллеров. В контроллере КРОСС-500 предусмотрено резервирование БЦП, контроллеров, аппаратуры ввода-вывода, полевых сетей. Резервирование может быть реализовано либо встроенными системными средствами контроллера, либо проектными средствами.

Процессорная структура контроллера



RS-485-внутренняя полевая шина контроллера;

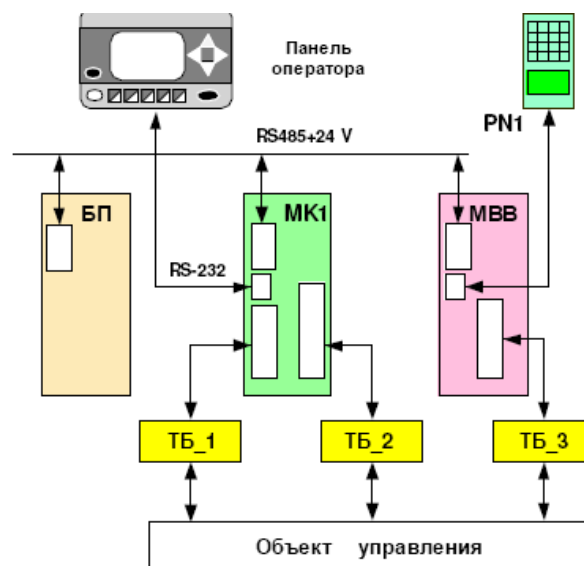
Модуль-модули MBV или МК1;

ФС220/5-XX – модуль питания;

ТБ – терминальный блок

Для локальных или небольших распределенных систем контроллер может не иметь в составе блока БЦП. В этом случае основную технологическую программу пользователя исполняет МК1, используя подключенные к нему MBV. При необходимости, МК1 могут объединяться в сеть по интерфейсу RS-485.

Микроконтроллерная структура



RS485 – внутренняя полевая шина контроллера;

RS232 - связь с панелью оператора;

БП – блок питания;

MBV – модули ввода-вывода (до 4 шт.);

ТБ – терминальные блоки.

Контроллеры имеют собственные микропроцессоры и 8 ячеек ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.

Контроллер может реализовать функции регулирования, логического управления, сбор информации и её передача, прием сигналов от абонента и их исполнение.

Контроллеры через интерфейс RS485 могут объединяться друг с другом, а также с удаленными модулями ввода/вывода. Через интерфейс RS232 контроллеры могут настраиваться и программироваться, а также может подключаться модель оператора.

V Программное обеспечение АСУ ТП

Программное обеспечение состоит из технического, информационного и организационное.

ПО – совокупность программ и программных документов, необходимых для эксплуатации этих программ.

Все программы объединяются в систему, которая называется системой программного обеспечения (СПО). Важнейшими элементами СПО является ОС, пакет прикладных программ и программы технического обслуживания (конфигуратор).

Пакеты прикладных программ обеспечивают решение задач контроля, управления, отображения и архивирования информации, подготовки отчетных документов.

В АСУ ТП используются системы реального времени: OS-9, RTOS32 – ОС контроллера, Q Nx – ОС операторской станции. Для программирования контроллеров могут применяться следующие программы:

- CodeSys;
- Isagraf;
- Step7, Step5;
- SoftCONTROL;
- MULTIPROG;
- OpenPCS;
- Icon – L.

Данные пакеты соответствуют международному стандарту МЭК 1131 – 3 (IEC 1131 – 3).

Определены следующие языки программирования:

- FBD – Function Block Diagram.
- ST – Structured Text.
- LD - Ladder Diagram.
- IL - Instruction List.
- SFC - Sequential Function Chart.

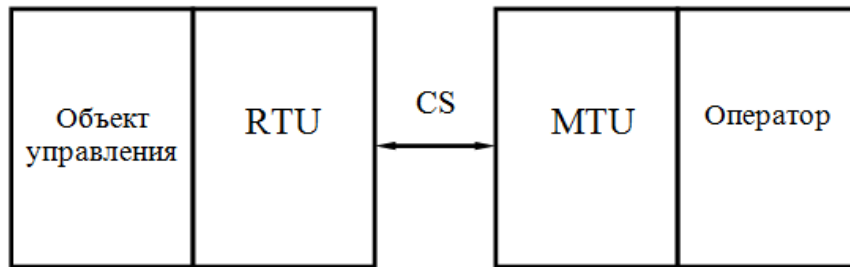
Программы операторских станций создаются на базе Scada – пакетов.

Назначение и функции SCADA

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных) - это процесс сбора информации реального времени с удаленных объектов для обработки, анализа и возможного управления этими объектами.

В данных системах реализованы принципы такие, как работа в режиме реального времени, высокая частота обновления данных, сетевая архитектура, принципы открытых систем и модульного исполнения, наличие запасного оборудования, работающего в «горячем резерве» и др.

Все SCADA-системы включают три основных структурных компонента.



Remote Terminal Unit (RTU) – удал. терминал, осуществляющий обработку задачи (управление) в режиме реального времени. КОНТРОЛЛЕРЫ

Master Terminal Unit (MTU) - диспетчерский пункт управления (главный терминал); осуществляет обработку данных и управление высокого уровня. Одна из основных функций - обеспечение интерфейса между человеком-оператором и системой.

Communication System (CS) - коммуникационная система (каналы связи), необходима для передачи данных с удаленных точек (объектов, терминалов) на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи сигналов управления на RTU.

Требования, предъявляемые к Scada - системам:

1. надежность системы;
2. безопасность управления, что предполагает, что никакой единичный отказ оборудования не должен вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на ОУ, никакая единичная ошибка оператора не должна вызвать выдачу ложного выходного воздействия (команды) на ОУ, все операции по управлению должны быть интуитивно- понятными и удобными для оператора (диспетчера);
3. открытость, как с точки зрения подключения различного контроллерного оборудования, так и коммуникации с другими программами;
4. точность обработки и представления данных, создание богатых возможностей для реализации графического интерфейса;
5. простота расширения системы;
6. использование новых технологий.

SCADA-системы обеспечивают выполнение следующих функций:

1. Сбор, хранение и первичная обработка инфо, поступающей от устройств нижнего уровня (если первичная не проводится в устройствах нижнего уровня, от которого поступает инфо(интеллектуальные датчики))
2. Отображение информации в различных формах (в виде мнемосхем, к которым используется статическая часть и динамическая часть, в виде графиков, трендов, в цифровом виде и в виде таблиц)
3. Архивирование инфо с возможностью ей просмотра и последующей обработки
4. Подготовка отчетных документов (рапортов, отчетов) с возможностью включения в отчетные документы значения технолог. Параметров и результатов вычислений.

5. Оперативное управление (обеспечивается возможность вкл, выкл оборудования, изменение уставок, параметров регулятора и т.д.), осуществляется через контроллеры.

6. Оповещение персонала об обнаруженных аварийных событиях, связанных с контролируемым технологическим процессом и функционированием программно-аппаратных средств АСУ ТП

В России сегодня наиболее популярны следующие зарубежные SCADA-пакеты:

- * In Touch (Wonderware, США)
- * iFIX (Intellution, США)
- * SIMATIC WinCC (Siemens, Германия)
- * Citect (Ci technologies, Австралия)
- * RTAP/plus (HP, Канада)
- * Wizcon (PC Soft International, Израиль-США)
- * Sitex и Phocus (Jade SoftWare, Великобритания)
- * Real Flex (BJ Software Systems, США)
- * Factory Link (US Data Corp., США)
- * View Star 750 (AEG, Германия)
- * PlantScape (SCAN 3000) (Honeywell, США)

Функциональные возможности SCADA пакета VNS-2000

VNS – полнофункциональный пакет программ для создания распределённых систем управления и диспетчеризации в различных отраслях промышленности.

Основные функции:

1) Отображение информации с помощью мнемосхем (мнемосхема – графическая конструкция, имеющая статическую и динамическую части). Мнемосхемы могут компоноваться следующими элементами:

- a) Линии.
- b) Поверхности (прямоугольник/многоугольник).
- c) Символ элемента.
- d) Тренд – прямоугольник, в котором в режиме оперативного управления отображаются текущие значения технологических параметров в заданный диапазон времени.
- e) Дата и время.

Для всех элементов, кроме тренда, может быть задан прозрачный или непрозрачный способ отображения. Максимальное число элементов на мнемосхеме 1200.

Для отображения на мнемосхеме динамики ТП с элементами мнемосхемы могут связаны следующие функции динамизации: параллельный сдвиг элементов, их вращение, изменение цвета, размера прямоугольника, длин прямой, индикации в цифровом виде, исчезновение/появление элемента и пр.

Каждая функция динамизации имеет параметр – переменную динамизации, которая связана со значением технологического параметра. В зависимости от параметра переменная динамизации может быть аналоговой, дискретной или множественной. Максимальное число переменных динамизации 4тыс.

2) Проведение расчётов. Для проведения расчётов используются специальные расчётные переменные. Их значения являются результатом выполнения одной из библиотечных алгоритмов. Библиотечные алгоритмы включают арифметику, логику, математические функции. Существует возможность добавлять свои алгоритмы.

3) Аварийное сообщение. VNS позволяет выводить на экран аварийное сообщение и регистрировать его на внешнем носителе. Аварийное сообщение состоит из строки: время аварии и текст сообщения

Если возникают условия формирования нескольких сообщений, то они помещаются в буфер аварийных сообщений. На экран выводится символ о наличии информации в буфере. После просмотра буфера сообщения считаются квитированными. При регистрации аварийных сообщений в момент их возникновения фиксируется текст, дата и время трёх событий: возникновение сообщения, его квитирование, исчезновение условий его появления

4) Технологическое сообщение формируется аналогично аварийному и выделяется др.цветом. Данный вид сообщений обычно не регистрируется на внешнем носителе (не архивируется). Технологические и аварийные сообщения могут быть звуковыми.

5) Формирование рапорта. Рапорт - отчётный текстовый документ, в заданной пользователем форме содержит текст и текущее значение переменных. Они могут быть сохранены на диске и выводиться на печать либо в заданное время, либо по событию.

6) Фоновая программа. Пакет VNS позволяет в режиме оперативного управления циклически выполнять программу пользователя, написанную на Pascal.

7) Сбор информации об истории ТП. Одновременно может собираться информация для формирования четырех типов исторических трендов: суточного, недельного, месячного, годового (в зависимости от периода опроса).

Пакет состоит из инструментальной (конфигуратор и графический редактор) и исполнительной систем. В конфигураторе настраиваются каналы связи и подключаемые к ним контроллеры, задаются переменные и способы их отображения. Пакет поддерживает работу через различные каналы в зависимости от типа исполнения контроллера (RS232/Ethernet/8ми канальный мультиплексорный последовательный порт). VNS содержит более 20 драйверов связи с различными объектами, есть возможность создания собственного драйвера.

Переменные описываются именем, указанием источника, типом опроса и параметрами обработки. Аналоговым переменным задаются коэффициенты масштабирования и точность.

Состав и функциональные возможности SCADA TRACE MODE 5.X

Trace Mode – российский Scada - пакет от компании AdAstra Ltd. Trace Mode – графическая инструментальная система для проектирования АСУ ТП верхнего уровня.

Позволяет разрабатывать и отлаживать технические программы, не прибегая к использованию языков программирования. Поддерживает как отечественные, так и зарубежные контроллеры.

Все программы, входящие в Trace Mode делятся на 2 группы: инструментальная система разработки АСУ и исполнительные модули, работают в режиме реального времени. В инструментальную систему входят 3 редактора: редактор базы каналов, редактор представления данных и шаблонов.

В инструментальной системе разрабатываются базы данных реального времени, программные обработки данных и управления, графические экраны для визуализации состояния ТП и управления им, а также шаблоны для генерации шаблонов о работе производства.

Существуют след. градации инструмент. систем по количеству точек ввода-вывода в одном узле проекта: 128, 1024, 32000, 64000.

Редактор базы каналов – здесь создается математическая основа системы, а также настраиваются информационные потоки между ними. Здесь же описываются вх и вых сигналы, задаются периоды опроса и формирования сигналов. Настраиваются законы первичной обработки и управления, задаются тех. границы, настраивается архивирование тех. параметров и границы сетевого обмена. Результатом работы в этом редакторе является математическая и информационная структура проекта АСУ ТП.

Редактор представления данных – здесь разрабатывают графическую часть проекта СУ. При этом создается статический рисунок технологического объекта, а затем поверх него размещаются динамические формы отображения и управления. Среди них такие как: гистограммы, графики, фазовое пространство, текстовые сообщения, области ввода значений, цветовая индикация, кнопки и пр. Все формы отображения инфо, управления и анимационные эффекты, связываются с информационной структурой, разработанной в редакторе базы каналов. Отображение информации о ТП может достигать 625 экранов (картинок).

Редактор шаблонов – используется для разработки шаблонов отчетов о ходе ТП.

Исполнительные модули (RunTime) – программы, под управлением которых запускается АСУ, созданная в инструментальной системе. Используется редактор испол. Модулей, который называется мониторами реального времени (МРВ). МРВ предназначен для супервизорного контроля и управления ТП. Под управлением МРВ выполняются след. Задачи: запрос данных о состоянии ТП от контроллеров, передача на нижний уровень команд управления, сохранение данных в архивах, передача данных по сети на след. уровень АСУ, представление оператору графической инфо го состоянии ТП, обмен данными с другими приложениями Windows через OPC – сервер.

Мониторы отличаются поддержкой различных каналов связи (модем и т.д.), поддержкой функции горячего резервирования, наличием адаптивного управления.

Разработано несколько версий: 4.10 работает под DOS; 4.20 под DOS/Windows; 5.0/6.0 под Windows-имеют встроенный язык программирования. В последних версиях заложены алгоритмы регулирования, в том числе и алгоритмы нечёткого и адаптивного регулирования.

Ввод информации от контроллера осуществляется по интерфейсам RS 232/RS485/Ethernet.

Структура и основные функции пакетов Trace Mode 6 и T – Factory 6

Trace Mode 6 содержит набор средств для программирования промышленных контроллеров Soft Logic, создание систем телемеханики и операторского интерфейса, относится к MES-системам.

T – Factory 6 решает задачи управления производственным бизнесом:

Контроль исполнения производственного задания, учет производственных затрат сырья, энергии, людских ресурсов, расчет себестоимости выпускаемой продукции, контроль отклонения фактических значений технико – экономических показателей от нормативов и так далее.

Все редакторы вызываются из единой интегрированной среды разработки, что позволяет любые изменения, сделанные в одной из компонентов проекта сделать доступными для всех остальных его частей.

Trace Mode 6 содержит библиотеку с более 600 готовыми техническими объектами, включающими не только динамизированную графику, но и алгоритмы управления.