



ЛЕЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: «Система управления химико- технологическими процессами»

Код дисциплины: СУНТР 4302

Шифр и наименование ОП: 6В0720100 «Технология фармацевтических производств»

Объем учебных часов /(кредитов): 180 часов /(6 кредита)

Курс и семестр изучения: 4 курс, 8 семестр

Объем лекций: 15 часов



Лекционный комплекс разработан в соответствии с рабочей учебной программой дисциплины (силлабусом) «Система управления химико-технологическими процессами» и обсуждены на заседании кафедры «Технологии фармацевтического производства»

Протокол № 19 «06» 05 2024 г.

Зав. кафедрой, к.техн.н., и.о. проф.  Арыстанбаев К.Е.

1. Тема 1: Введение. Основные понятия систем управления химико-технологических параметров.

2. Цель: Ознакомится с основные понятиями систем управления химико-технологических параметров.

3. Тезисы лекции:

1. *Основные понятия систем управления химико- технологических процессов и параметров.*

2. *Цели и задачи, решаемые при создании системы автоматизированного управления.*

3. *Основные понятия измерительной техники*

1. *Основные понятия систем управления химико- технологических процессов и параметров*

Цель управления химико-технологическим процессом. Химико-технологическая система (ХТС) функционирует нормально, если ее режимные параметры (температура, давление, расход, состав и т.п.) не отклоняются существенным образом от расчетных значений. Для обеспечения нормального функционирования технологической системы ею надо управлять.

Управление - процесс, обеспечивающий необходимое, в соответствии с целевым назначением, протекание химико-технологического процесса (ХТП) путем изменения материальных и энергетических потоков. Технологический процесс, с точки зрения управления, называется объектом управления. **Система управления** - это система, объединяющая объект управления и, собственно, управляющую систему. Управляющая система осуществляет сбор информации о состоянии объекта управления, возмущающих воздействий и состоянии внешней среды. На основе полученной информации принимаются решения по управлению и вырабатываются управляющие воздействия.

Функциональная структура АСУ ТП. В современных производствах задача управления технологическим процессом осуществляется автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП). АСУ ТП — это комплекс, объединяющий технологический процесс, технические средства сбора, обработки, преобразования информации, программного, алгоритмического и математического обеспечения и оперативного персонала. Функциональная структура АСУ ТП представляет собой многоуровневую иерархическую структуру (пример см. рисунок 1.1). На этом рисунке показано следующее. Нижний уровень представляет технологический процесс и технические средства получения информации (Д) и реализации управляющих воздействий (ИМ). «**Защита**» - подсистема комплексных средств автоматической защиты и блокировок. «**Стабилизация**» - подсистема выработки управляющих сигналов и средств автоматического регулирования технологических параметров. «**Оптимизация**» - подсистема расчета оптимальных параметров технологического процесса в соответствии с принятыми критерием и целями функционирования технологического процесса. «**Идентификация**» - подсистема расчета параметров математических моделей технологического процесса. «**Координация**» - подсистема расчета технико-экономических показателей (ТЭП). ввода в систему директив и указаний руководства предприятия и передача информации в другие системы управления предприятием для общей координации управления предприятием.

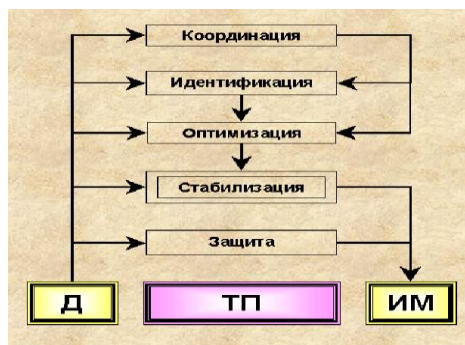


Рисунок 1.1 - Функциональная структура АСУ ТП

АСУ ТП — это человекo-машинная система. Функции системы могут быть реализованы в двух режимах ее работы:

- **автоматизированном**, в котором осуществляется автоматический сбор и обработка информации и выработка рекомендаций по управлению, а реализация управляющих воздействий осуществляется оператором;

- **автоматическом**, в котором выработка и реализация управляющих воздействий осуществляется автоматически управляющими устройствами без участия оператора.

2. Цели и задачи, решаемые при создании системы автоматизированного управления

Разработка системы автоматизированного управления (САУ) процесса фильтрации включает следующие этапы разработки:

- 1) определение исходных данных;
- 2) проектирование САУ;
- 3) реализация САУ;
- 4) апробирование САУ
- 5) сдача в эксплуатацию;

В данной работе планируется осуществить проектирование и реализацию отдельных элементов САУ. При этом необходимо решить следующие задачи:

- 1) Выбор программно-технического комплекса для реализации системы автоматизированного управления процессом, включающей следующие разделы:

- Определение структуры программно-технического комплекса (ПТК) LabView САУ;

- Выбор аппаратных и программных компонентов ПТК;

- 2) Разработка элементов системы автоматизированного управления:

- Написание программного обеспечения для элементов ПТК;

- Сборка узлов САУ, моделирование процесса, написание алгоритмов;

- Проверка функционирования разработанных элементов ПТК и САУ с использованием моделей (процесса, алгоритмов управления);

- Проверка функционирования САУ;

Система управления должна быть спроектирована таким образом, чтобы в дальнейшем интеграция с другими (автоматизированными и неавтоматизированными) стадиями процесса, а также включение в систему управления технологических аппаратов, не автоматизируемых на этом этапе, не представляло трудностей.

Система управления предназначена для реализации следующих групп функций:

- 1) оперативный контроль и автоматическое управление установкой с экранов рабочих станций и операторских панелей, с помощью реализованных в цветном исполнении фрагментов мнемосхем технологического процесса, панелей контроля и регулирования;

2) предупредительная и аварийная сигнализация при выходе технологических параметров за нижние и верхние пределы установленных технологических и аварийных границ;

3) представление информации операторам-технологам в виде мнемосхем, панелей контроля и регулирования, графиков, протоколов событий, таблиц, текстовых сообщений, представление указанной информации должно осуществляться на цветных экранах мониторов рабочих станций;

4) автоматическое протоколирование по мере возникновения событий следующих классов:

- сообщений о нарушениях и отклонениях в ходе технологического процесса;
- сообщений о возникновении двоичных событий (вкл/выкл электрооборудования, закрытие / открытие клапанов);
- сообщений о действиях оператора-технолога;
- системных сообщений;

5) формирование и автоматическое протоколирование усредненных значений технологических параметров за смену/сутки;

6) формирование и автоматическое протоколирование расходов сырья, расчет конечной выработки и сравнение с реальной выработкой;

7) формирование и автоматическое протоколирование усредненных значений материальных потоков по установке в целом, за сутки, смену;

8) формирование и печать протокола развития предаварийной ситуации:

- формирование и печать протокола обнаружения первопричины срабатывания аварийной программы;
- формирование протокола возникновения неисправностей оборудования и приборов КИП и А;

9) архивирование оперативной и отчетной информации в течение заданного времени и ее последующая печать для анализа технологическим персоналом.

Основными целями создания системы управления являются:

- 1) снижение материальных и энергетических затрат за счет повышения оперативности и точности управления;
- 2) повышение надежности функционирования технологического процесса и оборудования за счет внедрения системы автоматизации;
- 3) минимизация материальных затрат при обеспечении заданной производительности установки.

Указанные цели создания САУ могут быть скорректированы и расширены по мере освоения данной системы управления и при изменении стратегии управления технологическим объектом.

При разработке программных комплексов должны учитываться действующие отраслевые, государственные и международные (МАГАТЭ) стандарты, нормативные, руководящие и методические документы по требованиям к безопасности, надежности и живучести ЭС, номенклатуре показателей и методикам их расчета, а также современные результаты теории безопасности, живучести и надежности многоагрегатных технических комплексов с повышенным риском эксплуатации.

Дальнейшие работы в этом направлении предполагают создание баз данных (БД) типовых элементов АТК и ИУС с характеристиками их надежности элементов (безотказности, долговечности, ремонтпригодности или восстанавливаемости и сохраняемости), а также учет характеристик стойкости элементов конструкции и коммуникационных трасс к негативным воздействиям сред и параметров;

В последние годы автоматизация с наработкой экспериментальных данных нашла применение в ряде областей физики, медико-биологических исследованиях и т.д. Используемые при этом системы автоматизации отличаются большим разнообразием, однако можно выделить общие принципы, обеспечивающие их эффективность:

- Повышенные требования к быстродействию АСУ, поскольку такие системы предназначены для быстрого получения и анализа данных и быстрого принятия решений;
- Высокая надёжность АСУ, возможность безотказной длительной работы;
- Гибкость АСУ, допускающая изменение её структуры и состава в процессе работы;
- Возможность коллективного обслуживания различных установок;
- В АС должен быть предусмотрен диалоговый режим работы, когда осуществляется непосредственная связь человека с системой с помощью специального языка;
- В АС необходима простая и быстрая система контроля как технологических параметров так и изменения параметров самого оборудования.

ЭВМ работают в режиме "реального масштаба времени", или "в линию" (on-line). При этом ЭВМ, получая от системы данные, обрабатывает их и выдаёт результаты настолько быстро, что их можно использовать для воздействия на систему (или объект исследования). Часть данных обрабатывают в реальном времени и используют для контроля и управления, а основной массив данных с помощью ЭВМ записывают на долговременный носитель, которые обрабатываются и передаются в базу данных экспертной системы. Целесообразность такого режима обусловлена скорее экономическими причинами, ибо невыгодно применять быстродействующее дорогое оборудование, которое успевало бы в реальном времени обрабатывать полный массив данных. Это связано с тем, что полностью автоматизированная обработка ряда данных может производиться в экспертной системе расчётов и оценки остаточного ресурса действующего оборудования.

При выполнении исследований трудно предусмотреть все тонкости измерений. В ходе исследования могут появиться неожиданные результаты, которые необходимо уточнить или подтвердить.

На основе систематизации различных аспектов и проблем современной инженерии разработан концептуальный подход к методам проектирования процессов и аппаратов. В связи с развитием контроллерных систем управления, а также компьютерного оборудования и соответствующего программного обеспечения в последние годы возникла возможность создания различного рода баз данных, намного облегчающих принятие инженерных решений.

Формальные процедуры, лежащие в основе функционирования ИС, предполагают широкое использование измерительной информации и методов математического моделирования. Решение прикладных задач анализа и прогноза поведения динамического объекта в ИС ведется статистическими методами с привлечением теории планирования эксперимента.

Для реализации предложенного алгоритма необходимо создать эффективную комплексную систему автоматизации, которая позволяла бы не только контролировать и управлять процессом, но и накапливать данные для дальнейшего проектирования и эксплуатации.

3 Основные понятия измерительной техники

Автоматизация производственных процессов неразрывно связана с измерением физических величин. Под измерением понимают экспериментальное

определение численного соотношения между измеряемой физической величиной и значением, принятым за единицу измерения.

Для проведения измерений используют различные датчики и измерительные приборы.

Датчиками называют устройства, предназначенные для преобразования контролируемой или регулируемой величин в выходной сигнал, удобный для дистанционной передачи и дальнейшей обработки.

Измерительными приборами называют устройства, предназначенные для прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с единицей измерения и определения полученных результатов по отсчетному устройству.

Погрешности приборов . Вследствие несовершенства методов измерений и самих измерительных приборов результаты измерений, как бы тщательно они не выполнялись, не свободны от искажений, называемых ошибками или погрешностям. Для определения степени достоверности полученного результата, то есть соответствия его истинному значению измеряемой величины, необходимо знать погрешность прибора при данном измерении. Различают ряд погрешностей.

Абсолютной погрешностью измерительного прибора называется разность между его показанием и истинным значением измеряемой величины. Поскольку последнее установить нельзя, но к измерительной технике используют так называемое действительное полученное посредством образцового прибора . Таким образом, абсолютная погрешность представляет собой разность :

$$\gamma = A_i - A_d,$$

где A_i - показание измерительного прибора; A_d - действительное значение измеряемой величины. Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины, то есть является именованным числом.

$$C = A_d - A_i = -\gamma$$

Относительная погрешность - выражается в процентах и определяется по формуле :

$$\beta = \gamma / A_d * 100 \approx \gamma / A_i * 100 ;$$

Для нахождения действительного значения измеряемой величины в показания прибора вводят поправку C , которая численно , равна абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком :

Приведенной относительной погрешностью называется выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к диапазону шкалы измерительного прибора N :

$$\beta_{пр} = \gamma / N * 100;$$

Классы точности приборов. В технике обычно применяют приборы, при помощи которых измерения производят лишь с определенной заранее заданной и установленной ГОСТ допустимой основной (при нормальных условиях) приведенной относительной погрешностью. По ее величине измерительные приборы делят на классы точности 0,05 - 4,0.

Промышленные приборы в большинстве случаев выпускаются с классами точности 0,5; 1,0; 1,5. Например, прибор класс! 1.5 имеет максимально допустимую основную приведенную относительную погрешность $\pm 1,5$ %. Класс точности прибора обычно указывают на его шкале.

Наряду с величиной погрешности работа измерительном прибора характеризуется его вариацией, чувствительностью и запаздыванием.

Вариацией, характеризующей постоянство показаний измерительного прибора, называется наибольшая полученная экспериментально разность между показаниями измерительного прибора соответствующими одному и тому же действительному значению» измеряемой величины при одинаковых условиях измерения.

Вариация технических измерительных приборов при их проверке (см. ниже) определяется как наибольшая разность показаний прибора, полученная при прямом и обратном ходе, для одного и того /кг действительного значения измеряемой величины.

Чувствительностью измерительного прибора S , пазы пап γ и отношение линейного или углового перемещения указателя прибора L / к приращению измеряемой величины ΔA , вызвавшему это перемещение:

$$S = \Delta l / \Delta A$$

При этом под порогом чувствительности понимают то наименьшее изменение значения измеряемой величины, которое способно вызвать минимально измеряемое изменение в показаниях измерительного прибора.

Запаздыванием. характеризующим инерционность измерительного прибора называется время, отсчитанное с момента изменения измеряемой; величины до момента указания этого изменения прибором. Это время необходимо для прохождения сигнала по всем линиям связи прибора.

Для определения погрешностей измерения и поправок к показаниям измерительных приборов их периодически подвергают проверке. С этой целью сопоставляются показания- поверяемых и образцовых приборов, причем показания последних принимают за истинные значения измеряемых величин. В качестве образцового выбирают такой прибор, класс точности которого в 3-4 раза выше классов точности поверяемого прибора.

Градуировка приборов. В ряде случаев шкалы измерительных приборов строятся, в безразмерных или относительных единицах либо просто неизвестны значения делений шкалы прибора и единицах измеряемой величины. Такой прибор необходимо отградуировать.

Градуировкой измерительного прибора называют операцию, посредством которой делениям шкалы прибора придают значения, выраженные в установленных единицах измерения. При градуировке экспериментально находят зависимость между значениями измеряемой величины и количеством делений по шкале прибора или некоторой косвенной величины. Для градуировки технических измерительных приборов применяют образцовые приборы.

Литература:

основная:

1. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, В.А.Голубятеиков, В.В.Шувалов, М. "Химия", 1985г.

2. Проектирование систем автоматизации технологических процессов (справочное пособие), А.С.Клюев, Б.В.Глазов, А.Х.Дубровский, А.А.Клюев, М. «Энергоатомиздат», 1990г.

дополнительная:

3. Дудников Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности. – М; «Химия», 1987г.

4. Емельянов А. И., Капник У. В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М; «Энергоатомиздат», 1983г.

5 Контрольные вопросы

1) Цель управления химико – технологическими процессами

- 2) Функциональная структура АСУ ТП
- 3) Этапы разработки САУ
- 4) Основные цели создания системы управления
- 5) Основные понятия измерительной техники

1. Тема 2: Структура и функционирование программно-технического комплекса (ПТК) системы автоматизации

2. Цель: Выбор аппаратного и программного обеспечения для АСУ ХТП

3. Тезисы лекции:

1. *Структура и функционирование программно-технического комплекса (ПТК) системы автоматизации*
2. *Выбор программного обеспечения верхнего уровня. SCADA системы*

1 Структура и функционирование программно-технического комплекса (ПТК) системы автоматизации

В настоящее время автоматизация большого количества производственных процессов выполняется с использованием современных информационных технологий. Различные вычислительные средства, программные технологии и протоколы взаимодействия применяются для управления технологическими процессами на нижних уровнях автоматизации – интеллектуальные датчики, объединенные в промышленные информационные сети, программируемые логические контроллеры (ПЛК) на базе микропроцессорных компонентов. На верхних уровнях – вычислительные сети масштабов предприятия, автоматизированные рабочие места операторов, системы хранения технологической информации (базы данных) и другие программно-технические средства. На вход ПТК от датчиков поступают сигналы, несущие информацию о технологических параметрах процесса. Комплекс реализует заданные функции контроля, учета, регулирования, последовательного логического управления и выдает результаты на экран дисплея рабочей станции оператора и управляющие воздействия на исполнительные механизмы объекта автоматизации.

Проектируемая система автоматизации по своей структуре должна представлять централизованную автоматизированную систему управления. Прежде всего, это обусловлено сосредоточением всех элементов объекта управления на небольшом пространстве.

Кроме того, предлагаемая структура системы автоматизированного управления дисковым вакуум фильтром, позволит снизить затраты на оборудование ПТК, а также трудоемкость и время создания системы управления и проведения пуско-наладочных работ.

Структура программно-технического комплекса централизованной системы управления производством является иерархической, в ее составе должны быть предусмотрены следующие компоненты:

- 1) средства автоматического сбора информации от датчиков технологических параметров;
- 2) вычислительные средства с необходимым составом периферийных устройств;
- 3) средства обработки информации и передачи ее в сеть;
- 4) средства контроля и отображения технологической информации;
- 5) средства построения автоматизированных рабочих мест оперативного технологического персонала.

ПТК должен иметь возможность расширения функционально-алгоритмического и технического обеспечения за счет добавления новых технических средств и программного обеспечения, увеличении количества сигналов ввода/вывод.

Программно-технический комплекс должен включать аппаратные и программные средства для обеспечения диагностики всех компонентов, входящих в структуру комплекса.

С целью обеспечения постоянного электропитания программно-технического комплекса системы автоматизации необходимо:

1) реализовать соответствующую систему бесперебойного электропитания требуемой мощности;

2) время работы этой системы при исчезновении питания в производственной сети должно составлять не менее 40 минут и обеспечивать безаварийный останов установки (процесс, оборудование).

Функционирование программно-технического комплекса системы автоматизации должно быть круглосуточным, с остановкой на профилактику в период капитального ремонта технологического комплекса производства эритромицина.

Для защиты информации от потерь при сбоях программных и/или технических средств системы автоматизации должно быть обеспечено архивирование информации. Продолжительность хранения архива должна быть не менее 30 суток.

Применяя современные принципы построения систем автоматизированного управления, можно определить следующую структуру процесса:

- 1) диспетчерский уровень;
- 2) сетевой интерфейсный уровень;
- 3) уровень контроллеров и модулей ввода-вывода;
- 4) уровень датчиков и исполнительных механизмов.

Основные функции диспетчерского уровня – сбор и обработка данных и отображение технологического процесса. Средства диспетчерского уровня позволяют производственному персоналу удаленно контролировать течение технологического процесса, предоставляют доступ к исторической и актуальной технологической информации в удобной для восприятия форме в виде мнемосхем, диаграмм, тревог, исторических данные. На этом уровне необходимо обеспечивать корректность, доступность, простоту понимания отображаемой и записываемой технологической информации. Диспетчерский уровень представлен автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов, технологов, инженеров – компьютерами, получающими информацию с нижних уровней, на которых функционируют системы сбора данных и управления (SCADA), ведутся архивы баз данных (БД) технологических параметров.

Сетевой уровень является прослойкой между вычислительными средствами верхнего и нижних уровней, отвечает за взаимодействие АРМ, систем БД, промышленных контроллеров и устройств сопряжения с объектом (УСО).

Вычислительные средства через блоки согласования объединены в общую сеть с использованием интерфейсов (RS-485, Ethernet). Блок согласования подключается к последовательному порту компьютера (или в виде платы расширения вставляется в разъем непосредственно в компьютере) и выполняет функции преобразователя интерфейсов RS-485 в RS-232 и наоборот. По интерфейсу RS-485 происходит опрос входных параметров промышленных контроллеров, подключенных к сети для диспетчеризации и управления. Функции этого уровня – передача информации между вычислительными средствами автоматизации. На этом уровне обеспечивается детерминированность (гарантированность передачи данных за заданное время),

минимальное время доставки, корректность передаваемой информации. Этот уровень представлен сетевыми устройствами: повторителями, коммутаторами, маршрутизаторами, шлюзами, а также кабельной инфраструктурой сети.

Уровень контроллеров и модулей ввода-вывода решает классические задачи управления технологическими процессами. Наличие этого уровня в отличие от диспетчерского является обязательным, так как основные функции управления в АСУ реализуются именно на этом уровне. Функции – сбор и обработка первичной технологической информации, управление технологическим процессом. В соответствии с заложенной в него программой через встроенные или подключаемые модули ввода-вывода осуществляется сбор и обработка первичной информации с самого нижнего уровня – от датчиков технологических параметров, а также управления исполнительными механизмами (клапанами, двигателями мешалок и т.п.).

Основные функции диспетчерского уровня, как следует из названия, включает датчики (термометры сопротивления, манометры, рН-метры, емкостные уровнемеры и др.) и исполнительные механизмы (ИМ) с дистанционным управлением (приводы насосов, отсечные и регулирующие клапаны и др.), необходимые для получения информации о ходе управления технологическим процессом. Требования, предъявляемые к этому уровню, – надежность в эксплуатации, точность измерений и управления. Рекомендуется использовать датчики и ИМ с унифицированными аналоговыми и дискретными сигналами (токовый сигнал 4-20 мА, по напряжению 3.5V ~ 30 V), для упрощения подключения к модулям ввода-вывода контроллеров и УСО.

2 Выбор программного обеспечения верхнего уровня. SCADA системы

Приступая к выбору/разработке специализированного программного обеспечения (ПО) для создания систем контроля и управления диспетчерского уровня, необходимо выбрать один из следующих путей:

- программирование с использованием "традиционных" средств (традиционные языки программирования, стандартные средства отладки);
- использование существующих, готовых - COTS (Commercial Of The Shelf) - инструментальных проблемно-ориентированных средств.

Процесс разработки ПО важно упростить, сократить временные и прямые финансовые затраты на разработку ПО, минимизировать затраты труда высококлассных программистов, по возможности привлекая к разработке специалистов-технологов в области автоматизируемых процессов. При такой постановке задачи второй путь может оказаться более предпочтительным.

Для сложных распределенных систем процесс разработки собственного ПО с использованием "традиционных" средств может стать недопустимо длительным, а затраты на его разработку неоправданно высокими. Вариант с непосредственным программированием относительно привлекателен лишь для простых систем или небольших фрагментов большой системы, для которых нет стандартных решений.

Далее речь пойдет о существующих, готовых COTS средствах – SCADA системах.

SCADA-система - система диспетчерского управления и сбора данных. Специальное программное обеспечение, решающее задачи ввода-вывода информации в системе АСУ ТП, отслеживание аварийных и предаварийных ситуаций, обработки и представление на пульт оператора графической информации о процессе, поддержки отчетов о выполнении технологического процесса. В мире существуют порядка десятка подобных систем. Имеются разработчики такого программного обеспечения и в России.

Применение SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных) – технологий позволяет достичь высокого уровня

автоматизации в решении задач разработки систем управления, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации.

Дружественность человеко-машинного интерфейса (HMI/MMI), предоставляемого SCADA - системами, полнота и наглядность представляемой на экране информации, доступность "рычагов" управления, удобство пользования подсказками и справочной системой и т. д. - повышает эффективность взаимодействия диспетчера с системой и сводит к нулю его критические ошибки при управлении.

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

- . автоматизированная разработка, дающая возможность создания ПО системы автоматизации без реального программирования;
- . программная поддержка разнообразного оборудования и сетевых протоколов;
- . сбор первичной информации от устройств нижнего уровня (сигналы, определяющие состояние производственного процесса в текущий момент времени: температура, давление, положение и т.д. с промышленной аппаратуры: контроллеры, датчики и т.д.);
- . обработка первичной информации;
- . графическое отображение собранных данных на экране автоматизированного рабочего места (АРМ) в удобной для оператора форме (на мнемосхемах, индикаторах, сигнальных элементах, в виде текстовых сообщений и т.д.);
- . регистрация тревог (алармы) и исторических данных (тренды) (автоматический контроль состояния параметров процесса, генерация сигналов тревоги и выдача сообщений оператору в графической и текстовой форме в случае выхода их за пределы заданного диапазона);
- . хранение информации с возможностью ее пост-обработки (как правило, реализуется через интерфейсы к наиболее популярным базам данных);
- . контроль за действиями оператора путем регистрации его в системе с помощью имени и пароля, и назначения ему определенных прав доступа, ограничивающих возможности оператора (если это необходимо) по управлению производственным процессом;
- . средства исполнения прикладных программ.

Кроме перечисленных базовых функций SCADA систем возможно наличие специфических возможностей:

- . разработка и выполнение (автоматическое или по команде оператора) алгоритмов управления производственным процессом. Сложность алгоритмов ограничена возможностями и надежностью SCADA системы;
- . поддержка новых информационных технологий (WEB, GSM и т.п.);
- . интеграция с автоматизированными системами управления предприятиями (АСУП).

Следует отметить, что концепция SCADA, основу которой составляет автоматизированная разработка систем управления, позволяет решить ряд задач, долгое время считавшихся неразрешимыми: сократить сроки разработки проектов по автоматизации и прямые финансовые затраты на их разработку.

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

Программные продукты класса SCADA широко представлены на мировом рынке. Это несколько десятков SCADA - систем, многие из которых нашли свое применение и в России. Наиболее популярные из них приведены ниже:

- . InTouch (Wonderware) - США; Citect (CI Technology) - Австралия;
- . FIX (Intellution) - США; Genesis (Iconics Co) - США;
- . Factory Link (United States Data Co) - США;
- . RealFlex (BJ Software Systems) - США;
- . Sitex (Jade Software) - Великобритания;
- . TraceMode (AdAstrA) - Россия; Cimplicity (GE Fanuc) - США;
- . САРГОН (НБТ - Автоматика) – Россия;
- . LabVIEW DSC (National Instruments) – США.

При таком многообразии SCADA продуктов на российском рынке естественно возникает вопрос о выборе системы для наиболее эффективного решения поставленной задачи.

Среди перечисленных SCADA систем особенно хочется выделить продукт компании National Instruments LabView DSC (LabVIEW Datalogging & Supervisory Control). Эта система значительно проще в освоении и наглядней при программировании.

Литература:

основная:

1. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности, В.А.Голубятеиков, В.В.Шувалов, М."Химия", 1985г.
2. Проектирование систем автоматизации технологических процессов (справочное пособие), А.С.Клюев, Б.В.Глазов, А.Х.Дубровский, А.А.Клюев, М. «Энергоатомиздат», 1990г.

дополнительная:

3. Дудников Е. Г. Автоматическое управление в химической промышленности. – М; «Химия», 1987г.
4. Емельянов А. И., Капник У. В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. – М; «Энергоатомиздат», 1983г.

5 Контрольные вопросы

- 1) Структура программно-технического комплекса
- 2) Основные функции диспетчерского уровня
- 3) Функции SCADA систем

1. Тема 3: Автоматические измерительные системы. Общие сведения. Небалансные АИС. Балансные АИС

2. Цель: Ознакомиться с общими понятиями о небалансных и балансных АИС.

3. Тезисы лекции:

1. *Автоматические измерительные системы. Общие сведения*
2. *Небалансные АИС*
3. *Балансные АИС*

1 Автоматические измерительные системы. Общие сведения

Автоматические системы контроля предназначены для объективной качественной оценки физико-химических свойств твёрдого тела, жидкостей и газов; проверки качества обработки или изготовления изделия; качественной оценки размеров изделия после или в

процессе обработки; контроля технического состояния САУ, вычислительных устройств, радиоэлектронной аппаратуры.

Осуществление любой из перечисленных функций автоматического контроля начинается с измерения, т.е. с установления объективной качественной оценки параметра, характеризующего контролируемый процесс.

Рассмотрим автоматические измерительные системы (АИС), служащие для получения визуальных показаний, сигнализации, записи значений различных величин в производственном процессе.

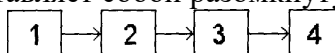
АИС делятся на 2 группы:

- 1) небалансные (не компенсационные, неуравновешенные);
- 2) балансные (компенсационные, уравновешенные).

АИС может иметь самостоятельное значение при автоматизации и телемеханизации производственных процессов, или может быть первичным измерителем при автоматическом регулировании или телерегулировании.

2 Небалансные АИС

Небалансные системы относятся к системам с прямым методом измерения (Рисунок 3.1). Она основана на непосредственном (без уравнивания) измерении выходной величины датчика, представляет собой разомкнутую систему.



1 - контролируемая величина; 2 - датчик; 3 - усилитель; 4 - измерительный орган.

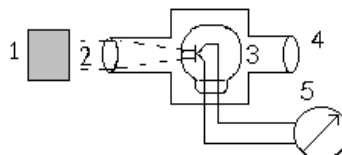
Рисунок 3.1 - Небалансные АИС

Достоинства: простота конструкции.

Недостатки: погрешности, возникающие под действием внешних причин (изменение температуры, напряжения) и внутренних факторов (изменение параметров элементов, входящих в устройства системы).

Если в системе используется логометр, погрешность от колебаний напряжения устраняется. При отсутствии усилителя небалансные схемы имеют большую точность, но малую выходную мощность.

Радиационный пирометр служит для определения температуры тела (Рисунок 3.2).



1 - нагретое тело; 2 - объектив; 3 - термопара-датчик; 4 - окуляр; 5 - измерительный прибор.

Рисунок 3.2 - Радиационный пирометр

Изучение нагреваемого тела 1 концентрируется с помощью объектива 2 на спаяе термопары 3, которая помещена в стеклянную колбу с нейтральным газом. Окуляр 4 служит для наводки пирометра на раскалённое тело.

Термопара преобразует температуру в напряжение. Чувствительность определяется материалом термопары.

К холодному спаю термопары присоединяется магнитоэлектрический милливольтметр. Величина термоЭДС термопары является функцией разности температур горячего и холодного спаев термопары. Причинами погрешностей могут быть температурные изменения окружающей среды, влияющие на сопротивление соединительных проводов, поглощение лучей в промежуточной среде и оптике.

Достоинства: простота конструкции, полная автоматичность.

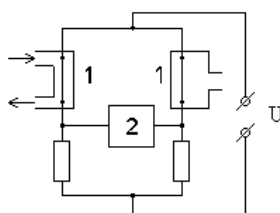
Недостатки: погрешности, свойственные измерительным небалансным системам.

Газоанализаторы применяются для измерения концентрации газа (Рисунок 3.3).

Тензодатчик - компенсирующий элемент, аналогичный датчику предусмотрен для температурной компенсации, реагирует на колебания температуры окружающей среды, что исключает погрешность показаний.

Обе системы собраны по мостовой схеме. Датчик и компенсирующее устройство включены в противоположные плечи моста.

Газоанализатор основан на изменении теплопроводности газа в зависимости от его состава. Плечом моста является платиновая нить, которая помещена в камеру, через камеру пропускается исследуемый газ. В зависимости от состава газа в камере меняется теплоотдача от нити, т.е. изменяется температура нити. Чем больше теплоотдача, тем меньше нагрев нити, а значит меньше её электрическое сопротивление, следовательно, изменение состава газа ведёт к разбалансу мостовой схемы

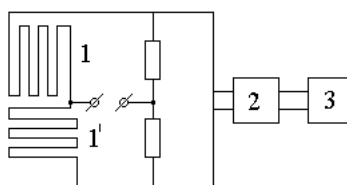


1 и 1' - тензодатчики; 2 - усилитель; 3 - измерительный прибор.

Рисунок 3.3 - Газоанализатор

Колебания окружающей температуры могут изменить температуру нити накала. Для компенсации этого явления в противоположные плечи включены 2 одинаковые платиновые нити, одна является датчиком, другая – компенсатором температуры. Изменение температуры одинаково скажется на изменении сопротивления обеих нитей.

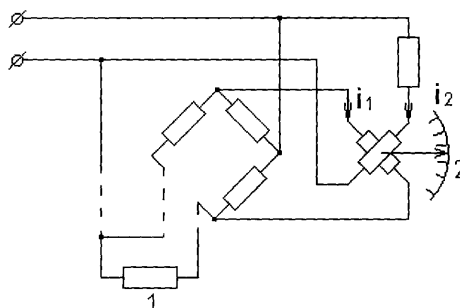
В схеме для измерения деформации тела (Рисунок 3.4) используются тензодатчики. Расположение на детали датчика зависит от направления деформации. Изменение сопротивления датчика составляет 2,1% на 1% удлинения. Для компенсации погрешности от изменения температуры среды предусмотрен другой тензодатчик, включенный в соседнее плечо моста относительно датчика измерения деформации. Компенсирующий датчик накладывается на деталь так, чтобы деформация детали не изменяла его сопротивления.



1 и 1' - тензодатчики; 2 - усилитель; 3 - измерительный прибор.
Рисунок 3.4 - Схема для измерения деформации тела

Сопротивление измерительной диагонали является входным сопротивлением усилителя, который передаёт напряжение разбаланса на указатель или записывающий прибор.

Мостовые измерительные схемы (Рисунок 3.5) позволяют практически исключить влияние изменения напряжения питания.



1 - термометр сопротивления; 2 - логометр.

Рисунок 3.5 - Электротермометр сопротивления с логометрическим приёмником

Термометр включен в качестве плеча в мостовую схему. Одна из рамок логометра 2 включена в диагональ моста, другая подключена к источнику питания.

При изменении измеряемой температуры сопротивление термометра меняется, изменяется ток диагонали, и логометр показывает температуру. Датчик 1 обычно помещают в удалении от мостовой схемы и логометра.

Чтобы температурные изменения сопротивления соединений проводов не вызывали погрешности, датчик соединяется со схемой 3 проводами. 2 соединения провода включены в смежные плечи моста и температурные колебания их сопротивления почти не изменяют тока небаланса.

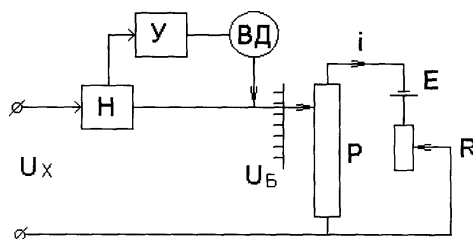
3 Балансные АИС

Применяются для повышения точности и увеличения выходной мощности.

Балансные системы делятся на системы периодического и непрерывного балансирования.

Автоматическим потенциометром называется балансное устройство, служащее для автоматического измерения (и записи) ЭДС или U . Эти системы непрерывного балансирования.

Рассмотрим схему астатической системы.



U_x - измеряемое напряжение; U_B - напряжение с реохорда P; i - ток, который поддерживается постоянным с помощью реостата R; P - реохорда; R - реостат; E - источник питания; БД - балансирующий двигатель; У - усилитель.

Рисунок 3.6 - Упрощённая схема автоматического потенциометра

С помощью перемещения движка реохорда P всё время поддерживается равновесие $U_x = U_B$. При изменении U_x , появляется напряжение разбаланса, d обнаруживается нуль-органом, d воздействует через усилитель на реверсивный балансирующий двигатель БД. Двигатель вращается в ту или иную сторону и перемещает движок до тех пор, пока не установится $U_x = U_B$, т.е. перемещение движка пропорционально значению измеряемого напряжения U_x . Движок связан со стрелкой, d указывает по шкале значение измеряемого параметра.

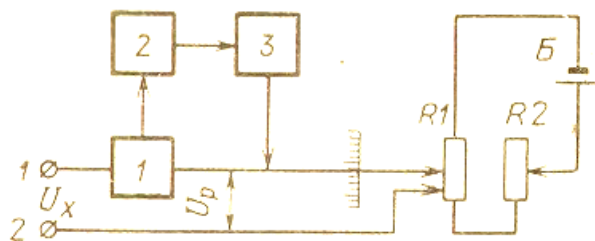


Рисунок 3.7 - Автоматический потенциометр

К клеммам 1 и 2 подводятся измеряемое напряжение U_x , которое уравнивается напряжением U_p , снимаемым с реохорда R_1 . Величина напряжения U_p может быть установлена и определена с высокой точностью. Уравнивающее напряжение U_p пропорционально расстоянию между его движками. Положение движков отчитывается по шкале реохорда. Ток в реохорде поддерживается постоянным с помощью реостата R_2 в цепи батареи питания Б. Уравнивание схемы осуществляется автоматически.

Нуль-орган 1 включает в себя чувствительное устройство, реагирующее на разность напряжения $U_x - U_p$. Сигнал нуль-органа усиливается усилителем 2 и поступает на электродвигатель 3, механически соединенный с движком потенциометра R_1 пропорционально значения измеряемого напряжения U_x .

При постоянстве измеряемой величины, когда система находится в состоянии покоя, ток в соединительных проводах отсутствует, поскольку напряжения U_x и U_p уравновешены.

Достоинством этой схемы в сравнении с небалансной является отсутствие погрешности.

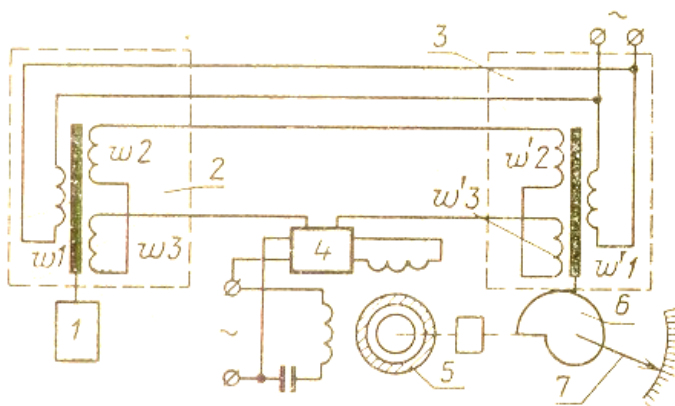


Рисунок 3.8 - Балансная бесконтактная схема

Существуют системы, с помощью которых можно осуществлять дистанционное измерение таких неэлектрических величин, как перемещение.

На рисунке 3.8 показана схема, работающая на переменном токе и не имеющая контактных элементов в измерительной цепи.

Схема содержит два одинаковых дифференциально-трансформаторных датчика 2 и 3. Датчики такого типа имеют катушку ω_1 и ω_1' , получающие питания от сети переменного тока и называемые первичными. Вторичная катушка каждого датчика разделена на две одинаковые секции ω_2 ; ω_3 и ω_2' ; ω_3' . Включение каждой катушки секции между собой встречное. Внутри катушек имеется ферромагнитный сердечник. Если положение сердечника симметрично относительно секций катушек ω_2 ; ω_3 и ω_2' ; ω_3' , то в них наводится напряжение одинаковой величины, а т.к. они включены встречно, то общее напряжение на зажимах катушек равно нулю.

При смещении сердечника относительно нейтрального положения на общих выходных зажимах катушек ω_2 ; ω_3 появится напряжение, величина которого пропорциональна перемещению относительно нейтрального напряжения будет изменяться и фаза напряжения на 180° .

В рассматриваемой измерительной системе сердечник одного датчика перемещается рабочим механизмом 1, положение которого контролируется. Напряжение на зажимах обмоток ω_2 и ω_3 будет изменяться пропорционально перемещению рабочего механизма.

В пункте контроля за положением рабочего механизма второй трансформаторный датчик также подключен зажимами первичной катушки к тому же напряжению, что и первый датчик. Их вторичные катушки соединены встречно по напряжению, так что перемещение сердечников в одну сторону от нейтрального положения наводит во вторичных катушках напряжения, которые противоположны по фазе на 180° и имеют одинаковые действующие значения.

При разном положении сердечников датчиков разностные напряжения вторичных катушек поступают на фазочувствительное устройство 4, от которого получает питание обмотка управления безынерционного асинхронного двигателя 5. Вал электродвигателя через передачу связан с эксцентриком 6, под действием которого изменяет свое положение сердечник второго датчика на пункте контроля. Одновременно от вала электродвигателя через редуктор перемещение передается на стрелку указателя 7.

Эксцентрик и указатель будут перемещаться до тех пор, пока существует разница в

положениях сердечников обоих трансформаторных датчиков. Так как датчик с механизмом отработки подключены к одному источнику питания, то стабилизации напряжения не требуется.

Система периодического балансирования, показанная на рисунке 3.9, предназначена для записи на бумажной ленте положения рабочего механизма. Первичный измеритель 3 изменяет положение движка потенциометра R_1 в зависимости от положения рабочего механизма. Встречно напряжению U_{R1} включено напряжения U_{R2} , движок которого через редуктор 2 непрерывно перемещается при помощи электродвигателя 1, имеющего стабилизированную скорость вращения. Так как потенциометры R_1 и R_2 подключены к одному источнику напряжения, то в данной схеме стабилизации питающего напряжения не требуется.

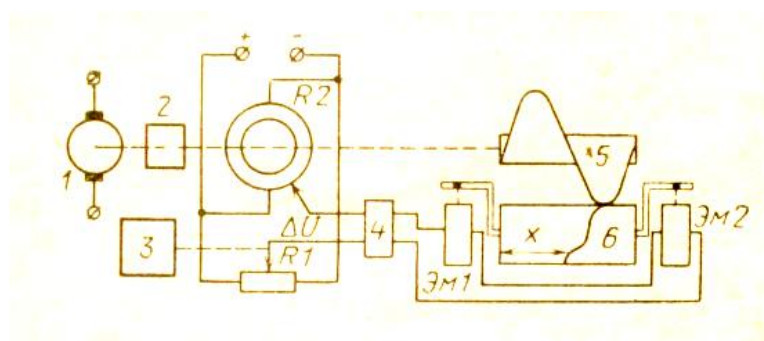


Рисунок 3.9 - Система периодического балансирования

В диагональ моста включен усилитель 4, который фиксирует момент отсутствия напряжения в измерительной диагонали схемы. При непрерывном вращении валика с бумагой 6 на нее наносится точка в каждый момент времени. Электромагниты ЭМ на короткое время прижимают бумагу к красящей ленте при помощи гребня 5, который механически связан с движком потенциометра R_2 .

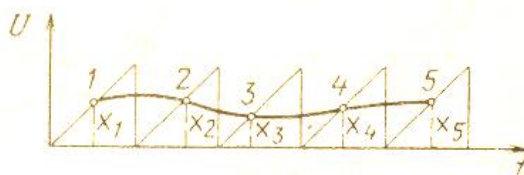


Рисунок 3.10 - График изменения измеряемой величины

Расстояния x_1, x_2, \dots, x_n получаемых точек от нулевого значения и определяют положение измеряемой величины.

Широкое применение, для измерения и записи величин, измеряемых сопротивлением, получили автоматические самобалансирующиеся мосты.

Мостовая измерительная схема включает в себя датчик R_2 (терморезистор) и реохорд R_1 (Рисунок 3.11). Напряжения разбаланса подается на электронный усилитель U , выходное напряжение которого поступает на обмотку управления двигателя M . Электродвигатель механически соединен с движком реохорда R_1 . При изменении сопротивления датчика R_2 движок реохорда R_1 перемещается в направлении ликвидации этого рассогласования до восстановления равновесия моста. Положение движка реохорда R_1 всегда отражает сопротивление датчика, т.е. измеряемую величину. Перемещение

движка может быть отградуировано в тех величинах, которые контролируются датчиком.

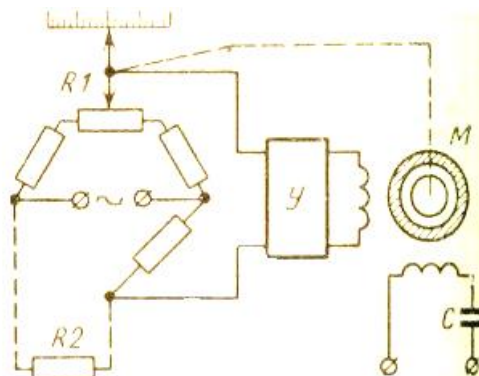


Рисунок 3.11 - Автоматический уравновешенный мост

Существуют такие схемы мостов, в которых отсутствует балансный электродвигатель (рисунок 3.12). Уравновешивающее сопротивление в этих схемах изменяется не под действием механических сил, а под действием электрического сигнала.

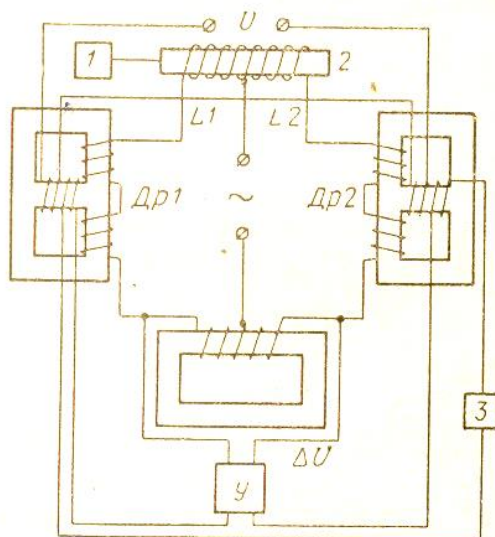


Рисунок 3.12 - Электрический самобалансирующий бесконтактный мост

Мост служит для измерения линейных перемещений. Датчик представляет собой катушку индуктивности, в которой вводится сердечник 2, связанный с измерителем перемещений 1. Мост уравнивается изменением индуктивностей дросселей ДР₁ и ДР₂, которые включены последовательно с катушками индуктивного датчика L₁ и L₂.

При возникновении разбаланса напряжения ΔU усиливается фазочувствительным усилителем У. Нагрузкой усилителя являются обмотки подмагничивания дросселей ДР₁ и ДР₂. При разбалансе моста по этим обмоткам протекает ток. Обмотки подмагничивания включается таким образом, что если один дроссель подмагничивается, то другой размагничивается. На среднем стержне каждого дросселя имеется обмотка, создающая постоянное намагничивание. При помощи этой обмотки выбирается участок работы на

характеристике намагничивания дросселя, где существует пропорциональная зависимость между током подмагничивания и изменением индуктивности дросселя.

Так, при перемещении сердечника датчика вправо индуктивность катушки $L_1 < L_2$, и равновесие моста нарушается. По обмоткам дросселей ДР₁ и ДР₂ потечет ток подмагничивания. В дросселе ДР₁ направление потока обмотки подмагничивания совпадает с направлением потока обмотки постоянного намагничивания, при этом общее намагничивание дросселя растёт, а следовательно, растёт и его индуктивность.

В дросселе ДР₂ будет обратное явление, т.е. поток обмотки подмагничивания имеет встречное направление потоку обмотки постоянного намагничивания; следовательно, дроссель будет размагничиваться и его индуктивность будет уменьшаться.

Ток в обмотках подмагничивания возрастает до такой величины, что мост снова приходит в состояние равновесия.

При перемещении сердечника датчика влево изменяется направление тока в обмотках подмагничивания и индуктивность дросселя ДР₂ будет расти, а у дросселя ДР₁ уменьшаться. Ток обмотки подмагничивания является показателем перемещения сердечника датчика. Поэтому указывающий измерительный прибор 3 включен последовательно с обмотками подмагничивания дросселей.

Шкала прибора проградуирована в единицах перемещения сердечника датчика. Точность измерения схемой зависит от чувствительности дросселей к тому подмагничивания и от коэффициента усиления усилителя. Прибор имеет отличную особенность, заключающуюся в полном отсутствии каких-либо контактных устройств, что особенно важно для увеличения надежности и долговечности работы данного устройства.

Литература

основная

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики. –М.: Высшая школа, 1985 г. –216 с.: ил.

2. Бабилов М.А., Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. –М.: Высшая школа, 1989 г. : ил.

дополнительная

3. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. –М.: Энергоатомиздат, 1986 г. : Ил.

4. Под редакцией Преснухина Л.Н. Микропроцессоры. Кн.1, 2, 3. –М.: Высшая школа, 1986 г., : Ил.

5. Гинзбург С.А., Лехтман И.Я. Основы Автоматики и телемеханики. –М.: Энергия, 1985, 510

2. Контрольные вопросы

- 1) Предназначение автоматических систем контроля
- 2) Достоинства и недостатки небалансных АИС
- 3) Область применения небалансных АИС
- 4) Назначение балансных АИС
- 5) Область применения балансных АИС

1. Тема 4: АИС с цифровым отсчётом. Преобразование непрерывных значений в дискретные

2. Цель: Понять сущность преобразования непрерывных значений в дискретные.

3. Тезисы лекции:

1. Преобразование непрерывных значений в дискретные

2. Непрерывно-дискретные преобразователи

1 Преобразование непрерывных значений в дискретные

Для ввода информации в ЦВМ или для вывода её в цифробуквенной форме, т.е. для передачи информации в дискретном виде используется непрерывно-дискретное преобразование. Для обратного преобразования дискретных величин в непрерывные, для воспроизведения информации оператору в непрерывной форме, а также для введения ОС в схему используется дискретно-непрерывное преобразование.

Рассмотрим преобразование непрерывно измеряемой величины $x(t)$ в последовательность дискретных значений, рисунок 4.1.

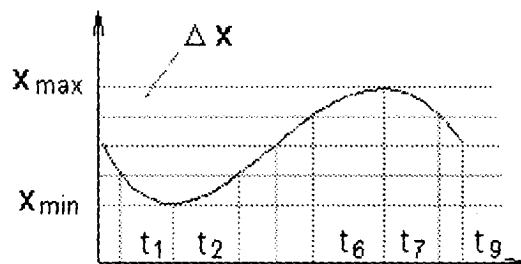


Рисунок 4.1 - Преобразование непрерывно измеряемой величины $x(t)$ в последовательность дискретных значений

Весь диапазон значений измеряемой величины от X_{\min} до X_{\max} разбивается на равные интервалы. Действительные значения воспроизводятся с помощью дискретных, отличающихся на ΔX . Процесс перехода от непрерывных значений в дискретные называется квантованием. ΔX - шаг квантования. Шаг выбирается в пределах допустимой погрешности измерения. Времени t_1 соответствует значение X_1 , и т.д. Величина ΔX - единицы измерения.

Для цифрового отсчёта необходимо в каждый дискретный момент времени воспроизвести в цифровой форме значения, заменившие непрерывную измеряемую величину. Для этого дискретные значения $X_1, X_2 \dots X_n$ представляют в виде цифровых кодов.

Преимущества дискретной формы:

- 1) большая помехоустойчивость;
- 2) лёгкость передачи на расстояние;
- 3) меньшее число ошибок.

2 Непрерывно-дискретные преобразователи

Непрерывно-дискретные преобразователи бывают двух видов :

- 1) преобразователи линейных или угловых перемещений;
- 2) преобразователи электрических величин.

Для первого вида широко применяется преобразования с помощью кодирующего диска, рисунок 4.2.

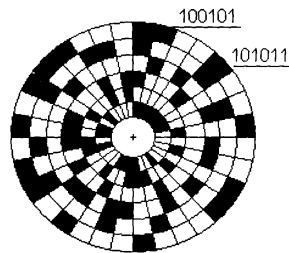


Рисунок 2.4.2 - Кодированный диск

На оси первичного датчика монтируется диск, на котором располагается ряд проводящих, изолированных друг от друга пластин. Пластины устанавливаются так, что вдоль каждого радиуса образуется последовательность проводящих и непроводящих участков.

Считывание осуществляется с помощью ряда радиально расположенных неподвижных щёток. В каждом положении диска фиксируется код, отвечающий углу отклонения оси первичного датчика. Если щётка находится на проводящем участке, передаётся 1, если на непроводящем, то передается - 0 .

Вместо контактных щёток используются фотоэлементы или полупроводниковые фотодиоды, освещаемые через прозрачные участки кодированных дисков.

Из-за несовершенства преобразователей при использовании двоичного кода могут появиться ошибки.

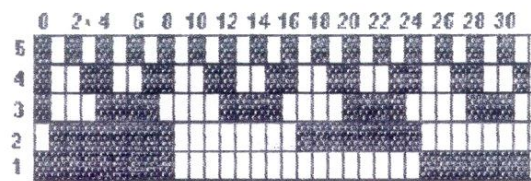


Рисунок 4 3 - Линейная развёртка диска

При переходе от положения 12 к 13 изменяются 3 позиции. При переходе от 24 к 25 изменяются все позиции. Все контакты считывания практически невозможно переключить одновременно и вместо одной комбинации может быть передана другая.

Для устранения этого недостатка разработан циклический код или "код Грея", в котором при переходе от одной цифры к другой всегда меняется значение лишь одного знака.

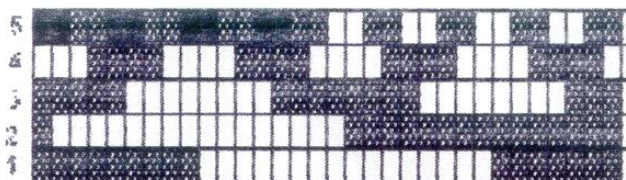


Рисунок 4 4 - Линейная развёртка диска

Существует много различных схем преобразователей угловых величин в цифровой код. Они позволяют мгновенно по одному отсчёту определить цифровой эквивалент преобразуемой величины.

Основным элементом измерительной системы с цифровым отсчётом является преобразователь непрерывной измеряемой величины в дискретное значение, рисунок 4.5.

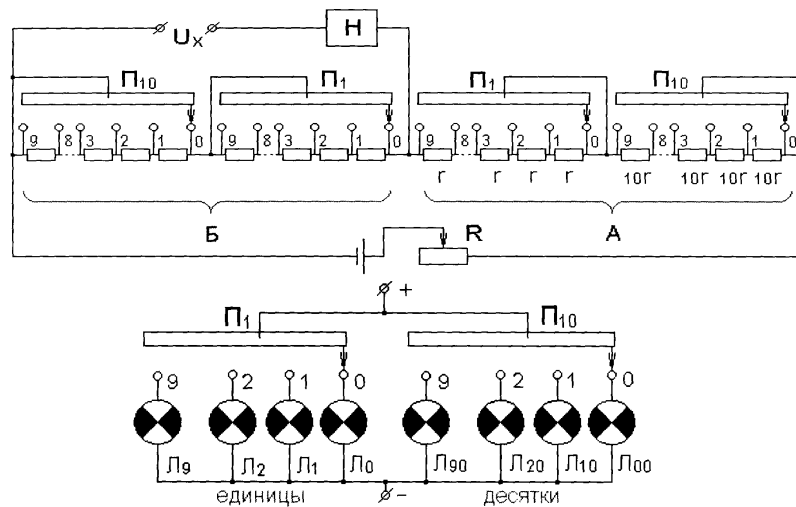


Рисунок 4.5 - Дискретный автоматический потенциометр

Реохорд заменяют две группы последовательно включённых сопротивлений А и Б, составляющих делитель напряжения. В каждой группе имеется определенное число декад сопротивлений (2 декады : единицы и десятки). Сопротивления переключаются с помощью шаговых переключателей, число которых соответствует числу декад.

Переключатели соединены таким образом, что при их работе общее сопротивление группы А уменьшается, а группы Б увеличивается, суммарное сопротивление групп остаётся постоянным.

Уравновешивание схемы производится путём последовательного переключения переключателей декад, начиная с наибольшей.

Литература

основная

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики. –М.: Высшая школа, 1985 г. –216 с.: ил.
2. Бабилов М.А., Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. –М.: Высшая школа, 1989 г. : ил.

дополнительная

3. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. –М.: Энергоатомиздат, 1986 г. : Ил.
4. Гинзбург С.А., Лехтман И.Я. Основы Автоматики и телемеханики. –М.: Энергия, 1985, 510

3. Контрольные вопросы

- 1) Сущность преобразования непрерывно измеряемой величины $x(t)$ в последовательность дискретных значений.
- 2) Преимущества дискретной формы
- 3) Преобразователи линейных или угловых перемещений
- 4) Преобразователи электрических величин

1. Тема 5: Виды систем автоматического регулирования. Классификация систем автоматического регулирования. Статическая система автоматического регулирования. Астатическая САР

2. Цель: Ознакомиться с видами систем автоматического регулирования.

3. Тезисы лекции:

1. *Виды систем автоматического регулирования, области применения*
 2. *Классификация систем автоматического регулирования*
 3. *Статическая система автоматического регулирования*
 4. *Астатическая система автоматического регулирования*
- 1) *1 ВИДЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ*

Существует большое разнообразие систем автоматического регулирования (САР), выполняющих те или иные функции по управлению самыми различными физическими процессами во всех областях техники. В системах сочетаются весьма разнообразные по конструкции механические, электрические и другие устройства, составляя сложный комплекс взаимодействующих друг с другом звеньев.

Области применения САР:

- автомат включения освещения (фотоэлемент, реагирующий на силу дневного света, и специальное устройство включения освещения, срабатывающее от сигнала фотоэлемента);
- автомат по продаже билетов, газет и т.д. при опускании определённой комбинации монет;
- станки-автоматы, автоматические линии станков и автоматические цехи на заводах;
- системы телеуправления, в которых от нажатия кнопки или поворота ручки на пульте управления совершается определённая комбинация операций в объекте;
- автоматический регулятор скорости вращения двигателя, поддерживающий постоянную угловую скорость двигателя независимо от внешней нагрузки (аналогично регулятора температуры, давления, напряжения, частоты и т.д.);
- автомат, поддерживающий определённый курс и высоту полёта самолёта без помощи лётчика;
- следящая система, на выходе которой копируется произвольное во времени изменение какой-нибудь величины, поданной на вход;
- система сопровождения, в которой ствол наземного орудия автоматически поворачивается за летящим самолётом;
- вычислительное устройство, выполняющее определённую математическую операцию;
- системы самонаведения снаряда на цель и т.д.

2 Классификация систем автоматического регулирования

Вследствие большого разнообразия систем автоматического регулирования, различающихся функциональными возможностями, принципами построения и формой конструктивной реализации, дать законченную классификацию систем автоматического регулирования в условиях, когда создаются всё новые и новые системы, не представляется возможным. Поэтому остановимся лишь на отдельных, наиболее характерных классификационных признаках систем (Рисунок 5.1).

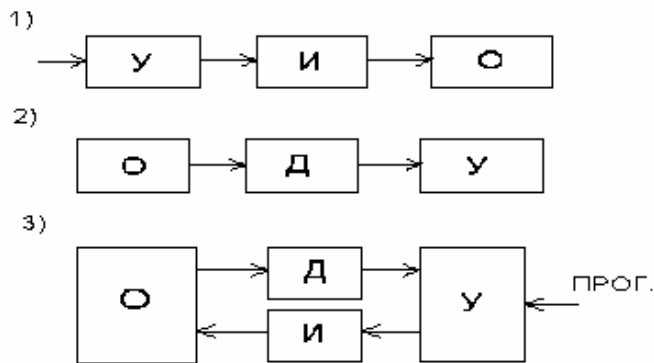


Рисунок 5.1 - Схемы САР

1) система автоматического управления предназначена автоматически выполнять операции, задаваемые внешними источниками воздействий (задающими элементами) на входе этой системы, и притом так, что процесс управления не зависит от его конечного результата;

2) система автоматического контроля предназначена автоматически измерять какую-либо величину или ее отклонение от заданного значения;

3) замкнутая система автоматического регулирования предназначена автоматически поддерживать постоянство значений одной или нескольких физических величин (регулируемых параметров), характеризующих производственный процесс, или изменять эти величины по заданному закону. Систему автоматического регулирования можно получить путем объединения в одну замкнутую систему систем автоматического контроля и управления.

По принципу построения, который определяет принцип построения систем автоматического регулирования, – это наличие в них явно выраженной главной цепи ОС. По этому признаку системы разделяются на замкнутые и разомкнутые САР.

Замкнутая система автоматического регулирования предназначена автоматически поддерживать постоянство значений одной или нескольких физических величин (регулируемых параметров), характеризующих производственный процесс, или изменять эти величины по заданному закону. Элементарную систему автоматического регулирования можно получить путём объединения в одну замкнутую систему систем автоматического контроля и управления. В схеме нижняя ветвь в виде некоторой системы автоматического контроля представляет собой канал обратной связи, по которому в систему автоматического управления передаётся информация о состоянии управляемого объекта в процесс воздействия на него управляющих сигналов с выхода системы автоматического управления. Наличие подобного канала информации, превращающего систему автоматического управления в замкнутую систему автоматического регулирования, составляет характерную особенность систем автоматического регулирования.

В замкнутой автоматической системе изменение внутренних параметров системы и внешних возмущений сказывается значительно меньше на регулируемом объекте, чем в разомкнутой. Принципиальная особенность этой системы состоит в том, что в ней автоматически сравнивается действительное значение регулируемого параметра с заданным. Разность этих значений приводит в действие данную систему так, чтобы в процессе её работы рассогласование автоматически сводилось к нулю или к достаточно малой величине.

По назначению – это назначение систем или режим автоматического управления в них. По этому признаку системы делят на системы стабилизации, программного регулирования и следящие.

Системы стабилизации поддерживают заданное значение регулируемой величины на постоянном уровне или в пределах допустимых изменений.

Системы программного регулирования автоматически воспроизводят с той или иной степенью точности наперед заданную программу изменения какой-либо величины, заложенную в элемент сравнения.

Следящие системы с той или иной степенью точности воспроизводят изменения входных величин, происходящие по произвольному закону.

В следящих системах управляющее воздействие воспроизводит изменения задающего воздействия, т.е. "следит" за его состоянием.

2) ОБЩАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРЕДСТАВЛЕНА НА РИСУНКЕ 5.2.

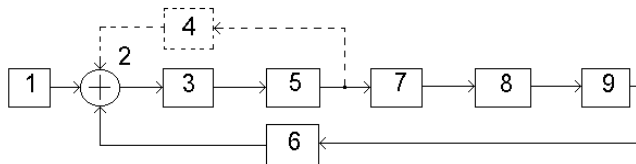


Рисунок 5.2 – Общая структурная схема следящей системы

1 формирователь входного сигнала; 2 блок сравнения; 3 корректирующее последовательное устройство; 4 корректирующее параллельное устройство; 5,7 усилители; 6 устройство в цепи ОС; 8 исполнительное устройство; 9 преобразователь.

Следящие системы являются одной из разновидностей САР, поэтому, как и все САР, они классифицируются: по назначению; в зависимости от характеристик входного сигнала; по типу применяемых элементов.

Способность систем автоматического регулирования поддерживать с определённой степенью точности величину регулируемого параметра. По этому признаку различают системы статические и астатические.

3 Статическая система автоматического регулирования

Статической системой автоматического регулирования называют такую систему, в которой принципиально невозможно поддерживать одно и то же значение регулируемого параметра во всех установившихся режимах при условии, что настройка системы остаётся неизменной. Остаточную ошибку в такой системе называют статизмом.

Характеристика статизма показана на рисунке 5.4.

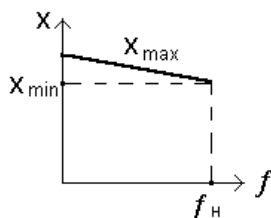


Рисунок 5.4 - Характеристика статизма
если характеристика линейна, то

$$\delta = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\min}}, \quad (5.1)$$

где δ – статизм регулирования.

При статическом регулировании величина регулирующего воздействия однозначно связана с отклонением регулируемого параметра от заданного значения. Отсюда следует,

что для создания требуемого регулирующего воздействия необходимо отклонение регулируемого параметра. Равновесие системы для разных нагрузок имеет место при различных значениях регулируемого параметра, лежащих в заранее заданных пределах. Рассмотрим пример автоматического регулирования угловой скорости вращения вала электродвигателя на рисунке 5.3

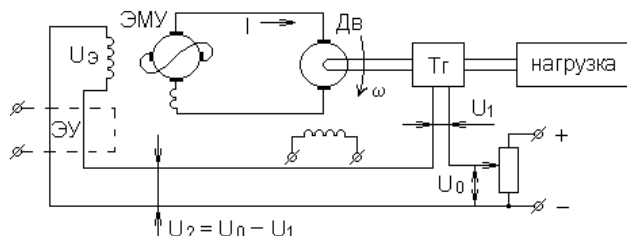


Рисунок 5.3 - Схема автоматического регулирования угловой скорости вращения вала электродвигателя

Двигатель (Дв) является регулируемым объектом. Схема является схемой непрямого действия. Изменение нагрузки на валу электродвигателя является возмущающим воздействием.

Измерительное устройство - тахогенератор T_r (электрический тахогенератор), вырабатывающий напряжение U_1 , пропорциональное регулируемой величине – угловой скорости ω . На потенциометре задатчика устанавливается напряжение U_0 , соответствующее требуемому значению угловой скорости ω . Рассогласование $U_2 = U_0 - U_1$ подаётся на электромашинный усилитель ЭМУ, иногда вводится предварительный электронный усилитель. Наличие отклонения в статической системе является неизбежным и должно быть тем больше, чем больше изменяется величина внешнего возмущения.

При статическом регулировании величина регулирующего воздействия однозначно связана с отклонением регулируемого параметра от заданного значения, отсюда следует, что равновесие системы для разных нагрузок имеет место при различных значениях регулируемого параметра, лежащих в заранее заданных пределах.

4 Астатическая система автоматического регулирования

Астатической САР называют такую систему, в которой по окончании переходного процесса регулируемый параметр принимает всегда одно и то же значение и не зависит от величины возмущающего воздействия на управляемый объект. Следовательно, в астатических системах статизм всегда равен 0.

Рассмотрим схему астатического регулятора скорости (Рисунок 5.5).

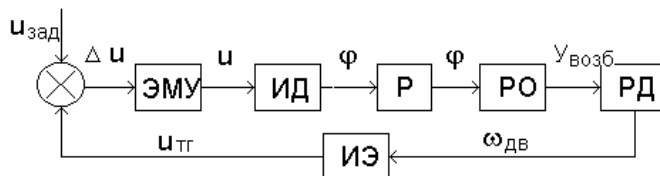


Рисунок 5.5 – Схема астатического регулятора скорости

ЭМУ - электромашинный усилитель; ИД - исполнительное устройство; Р - редуктор; РО - регулируемый реостат; РД - регулируемый двигатель; ИЭ - измерительный двигатель.

В этой системе при изменении внешнего возмущения (нагрузки) изменяется регулируемая величина и напряжение в виде разности Δu между $u_{зад}$ и $u_{тг}$ (фактическое значение) поступает на вход ЭМУ, питающего якорную обмотку электродвигателя. В

зависимости от знака сигнала, поступающего на усилитель, исполнительный двигатель будет вращаться в том или ином направлении и через редуктор перемещать ползунок регулировочного реостата.

Функциональные возможности – это вид функциональной связи между входными и выходными величинами элементов, входящих в систему автоматического регулирования. По этому признаку системы делят на системы непрерывного и прерывистого действия.

Системы автоматического регулирования относятся к системам непрерывного действия, если непрерывному изменению входных величин всех элементов соответствует непрерывное изменение выходных величин этих элементов.

Системы автоматического регулирования относятся к системам прерывистого дискретного действия, если непрерывному изменению входной величины хотя бы одного элемента, входящего в состав системы, соответствует прерывистое изменение выходной величины этого элемента.

В системах дискретного действия соответствующие элементы обеспечивают при непрерывном изменении входной величины изменение выходной величины в виде скачка или импульса.

Релейный элемент обладает тем же свойством, что сигнал на его выходе $X_{\text{ВЫХ}}$ до определённого значения $X_{\text{ВХ}}$ остаётся постоянным, а затем резко изменяется.

В релейных САР используются контактные электромагнитные реле различных типов, а так же бесконтактные устройства дискретного действия (Рисунок 5.6).

Т.к. в релейной системе в процессе обработки выходной величины главная цепь периодически разрывается, говорят, что такая система работает по принципу "включено-выключено" или "да-нет". Статическая характеристика также имеет точки разрыва.

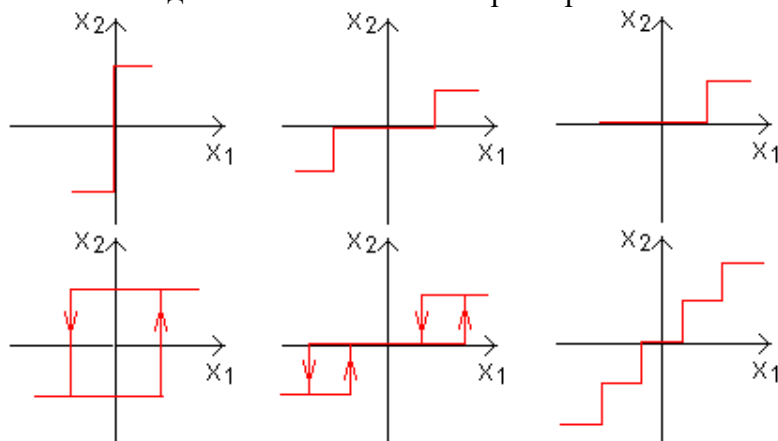


Рисунок 5.6 - Статическая характеристика регулятора скорости с релейным управлением

Литература

основная

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики. –М.: Высшая школа, 1985 г. –216 с.: ил.
2. Бабилов М.А., Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. –М.: Высшая школа, 1989 г. : ил.

дополнительная

3. Гинзбург С.А., Лехтман И.Я. Основы Автоматики и телемеханики. –М.: Энергия, 1985, 510

4. Контрольные вопросы

- 1) Виды систем автоматического регулирования, области применения.

- 2) Классификация систем автоматического регулирования
- 3) Что такое следящие системы?
- 4) Статическая система автоматического регулирования
- 5) Схема астатического регулятора скорости
- 6) Виды астатических систем автоматического регулирования

1. Тема 6: Требования к системе автоматизации

2. Цель: Умение построить переходные процессы в АСР.

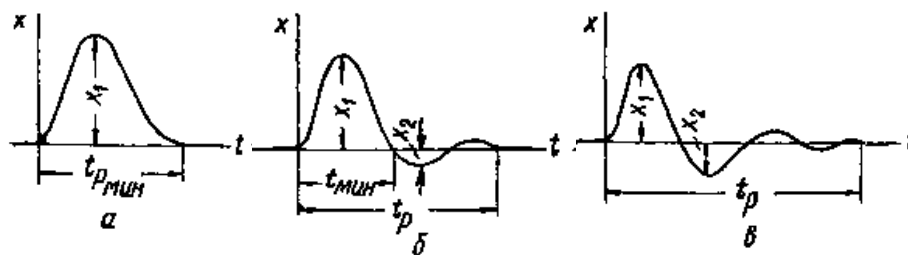
3. Тезисы лекции:

1. Типовые процессы регулирования
2. Критерии качества переходных процессов в АСР
3. Математические модели замкнутых АСР

1 Типовые процессы регулирования

Типовые процессы регулирования. Характер переходного процесса, а следовательно, качество регулирования определяются в данных условиях (при данных динамических свойствах агрегата и возмущениях) как выбранным законом регулирования, так и настройками регулятора. При разных настройках одного и того же регулятора можно получить различные переходные процессы, отличающиеся величиной перерегулирования и другими показателями качества. Оптимальный характер процесса регулирования и необходимые для этого настройки регулятора - понятия относительные. В зависимости от условий регулируемого технологического процесса (требований к его протеканию и качеству продукции), характера возмущений и устройства аппаратуры регулирования наилучшими могут быть признаны различные по своему характеру процессы регулирования.

В общем случае рекомендуются три основных типовых процесса регулирования (рисунок 6.1):



a - аperiodический с минимальным t_p ; *б* - процесс с 20%-ным перерегулированием и минимальным временем $x_{\%1}$, *в* - процесс с минимальной квадратичной площадью

отклонения ($\min \int_0^{\infty} x^2 dx$).

Рисунок 6.1 - Типовые оптимальные процессы регулирования:

Аperiodический процесс (граничный) характеризуется, помимо минимального общего времени регулирования, отсутствием перерегулирования и минимальным регулирующим воздействием, т. е. минимальным изменением подачи регулирующей среды. Это целесообразно в тех случаях, когда регулирующее воздействие для рассматриваемой регулируемой величины может оказывать влияние и на другие регулируемые величины.

Процесс с 20%-ным перерегулированием рекомендуется в тех случаях, когда допустима известная величина перерегулирования, которое снижает максимальное динамическое отклонение. Минимальное время первого полупериода колебаний, в котором имеет место наибольшее отклонение от задания, является преимуществом, если остальная часть переходного процесса, где отклонения от задания сравнительно невелики, менее существенна или несущественна вовсе.

Процесс с $\min \int_0^{\infty} x^2 dx$ характеризуется наибольшим перерегулированием (порядка 40—45%) и временем регулирования, наибольшим регулирующим воздействием. Однако ему свойственна наименьшая величина максимального динамического отклонения.

2 Критерии качества переходных процессов в АСР

Прямые показатели качества. В правильно рассчитанной АСР необходимым условием является обеспечение устойчивого переходного процесса. Однако обычно этого недостаточно, т.к. кроме того, должны выполняться определенные требования (критерии) качества регулирования. Конкретные числовые значения критериев выбираются исходя их требований технологического регламента. На рисунке 6.2 показаны некоторые из них (прямые критерии качества).

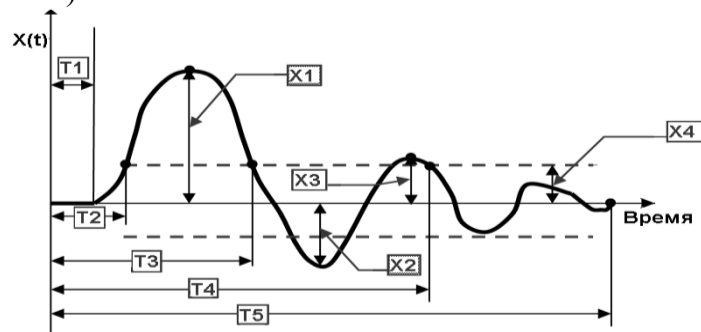


Рисунок 6.2 – Типичный вид графика переходного процесса в устойчивой АСР.

На этом рисунке: $X_1 = x_{a1}$, $X_2 = x_{a2}$, $X_3 = x_{a3}$ – динамические ошибки регулирования; $T_4 = t_p$ – время регулирования при заданном значении статической ошибки $x_{cm} = X_4$, t_p – это время, за которое регулируемая величина в переходном процессе начинает отличаться от установившегося значения менее, чем на значение x_{cm} . Обычно принимается, что $x_{cm} = 3\% - 5\%$ от величины скачка сигнала задания.

Настройки регулятора надо выбирать так, чтобы обеспечить минимально возможное значение t_p , либо минимальное значение x_{a1} . В непрерывных системах с типовыми регуляторами это время бывает минимальным при оптимальных апериодических переходных процессах (см. рисунок 6.2). Дальнейшего уменьшения времени регулирования до абсолютного минимума можно достичь при использовании специальных оптимальных по быстрдействию АСР. В некоторых АСР наблюдается ошибка, которая не исчезает даже по истечении длительного интервала времени – это статическая ошибка регулирования $x_{cm\text{рег}}$, она всегда есть у П – регулятора и не должна превышать некоторой заданной величины x_{cm} .

У регуляторов с интегральной составляющей ошибки в установившемся состоянии теоретически равны нулю, но практически незначительные ошибки могут существовать из-за наличия зон нечувствительности в элементах системы. Часто используются

показатели качества: $\psi = \frac{x_{a1} - x_{a3}}{x_{a1}}$ – степень затухания; $\eta = \frac{x_{a2}}{x_{a1}} \cdot 100\%$ – перерегулирование.

Показатель качества $R_D = (Y_1/Y_0) \cdot 100\%$ - динамический коэффициент регулирования, где смысл величин R_D и Y_1 ясен из рисунок 6.3. Величина R_D характеризует степень воздействия регулятора на процесс, т.е. степень понижения динамического отклонения в системе с регулятором и без него.

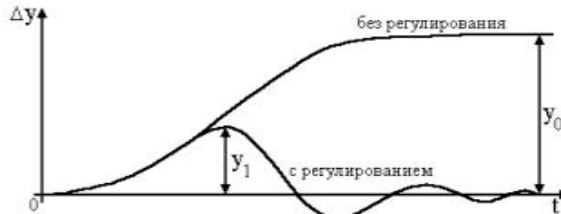


Рисунок 6.3 - К понятию динамического коэффициента регулирования

Часто используют и критерии вида:

$$I_1 = \int_0^{t_d} \varepsilon dt, \quad I_2 = \int_0^{t_d} \varepsilon^2 dt, \quad I_3 = \int_0^{t_d} |\varepsilon| dt - \text{интегральные критерии качества.}$$

В цифровых системах используются аналоги интегральных критериев качества регулирования - суммарное значение ошибки регулирования за время завершения переходного процесса при заданном значении x_{cm} (средний квадрат ошибки управления

$$S_E^2 = \frac{\sum_{j=1}^M E_j^2}{M}$$

(накопленная ошибка за N шагов переходного процесса):

(6.1)

или усредненное квадратичное отклонение управляющей переменной (средняя входная мощность):

$$S_U^2 = \frac{\sum_{j=1}^M U_j^2}{M}, \quad (6.2)$$

где M – общее количество переходного процесса шагов за время t_p . Этот показатель позволяет оценить усредненную интенсивность перемещения исполнительного механизма за N шагов, если значение S_U^2 велико, то исполнительный механизм подвержен большему износу.

Корневые показатели качества. Эти критерии связаны со значениями и знаками корней характеристического уравнения замкнутой АСР. По определению система устойчива, если корни характеристического уравнения «левые», т.е. расположенные в левой комплексной полуплоскости. Система обладает определенным запасом колебательности $m < \frac{\text{Re } p_i}{\text{Im } p_i}$, см. график и пояснения на стр. 61 в [2]. Приблизительно

значение m связано с ψ соотношениями:

$$\psi = 1 - \exp(-2 \cdot \pi \cdot m) \quad \text{и} \quad m = -\ln(1 - \psi) / (2 \cdot \pi).$$

Использование корневых критериев качества лежит в основе расчета настроек с использованием РАФХ (см. [1, 2, 19]. РАФХ можно получить из передаточной функции объекта подстановкой:

$$p = -m\omega + j\omega \quad (6.3)$$

3 Математические модели замкнутых АСР.

Математические модели замкнутых АСР. ММ Замкнутых АСР находятся по правилам преобразования структурных схем [22]. Для одноконтурных замкнутых АСР по каналу возмущения:

$$W_{\text{сд}}(\partial) = \frac{W(p)}{1 + W(p) \cdot R(p)}, \quad (6.4)$$

здесь вход U , выход X (т.е. возмущение нанесено со стороны РО, а регулятор должен обеспечить возвращение выхода X к заданию X^*).

По каналу задания:

$$W_{\text{сд}}(p) = \frac{W(p) \cdot R(p)}{1 + W(p) \cdot R(p)}, \quad (6.5)$$

здесь вход X^* , выход X , (т.е. изменено задание X^* регулятору и он должен обеспечить достижение значения выхода X равного новому значению X^*).

Для каскадных замкнутых АСР по каналу возмущения:

$$W_{\text{сд}}(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p) \cdot R(p) \cdot R_1(p) + W_1(p) \cdot R_1(p)} \quad (6.6)$$

и по каналу задания:

$$W_{\text{сд}}(p) = \frac{W(p) \cdot R(p) \cdot R_1(p)}{1 + W(p) \cdot R(p) \cdot R_1(p) + W_1(p) \cdot R_1(p)}. \quad (6.7)$$

Для комбинированных замкнутых АСР по каналу возмущения:

$$W_{\text{сд}}(p) = \left[\frac{1}{1 + W(p) \cdot R(p)} \right] \cdot [W_1(p) + W(p) \cdot R_1(p)] \quad (6.8)$$

Для АСР с регулятором Смита:

$$W_{\text{ЗМ}}(p) = \frac{W(p)}{1 + W^*(p) \cdot R(p)} \quad (6.9)$$

Алгоритм построения переходных процессов на основе метода Акульшина.

Метод Акульшина требует знания АФХ и ФЧХ замкнутой АСР и основан на использовании разложения в ряд Фурье входного и выходного сигналов системы. Известно, что периодическая функция может быть разложена в ряд Фурье. Выходную величину $x(t)$ условно рассматривают как периодическую функцию с периодом T_0 . в 4..6 раз большим времени переходного процесса в системе. При этом считают, что в течении времени меньшего, чем $T_0/2$ амплитуда возмущения $+\Delta U$, а в течении времени большего, чем $T_0/2$ амплитуда возмущения $-\Delta U$. Разложим такое входное воздействие в ряд Фурье:

$$u(t) = \frac{2 \cdot \Delta U}{\pi} \cdot \sum_{i=1,3,5,\dots}^{N_\phi} \frac{\sin(i \cdot \omega_0 \cdot t)}{2 \cdot i - 1} \quad (6.10)$$

где $i=1, 3, 5, \dots, N_\phi$ – возрастающий ряд нечётных цифр ($N_\phi=19 \dots 23$).

Так как рассматриваемую систему полагаем линейной, то выход можно представить отрезком ряда:

$$x(t) = \frac{2 \cdot \Delta U}{\pi} \cdot \sum_{i=1,3,5,\dots}^{N_\phi} \frac{\dot{A}_{\text{сн}}(\omega_0) \cdot \sin(i \cdot \omega_0 \cdot t + \varphi_{\text{сн}}(\omega_0))}{2 \cdot i - 1}, \quad (6.11)$$

Расчет переходного процесса производят, используя формулу (6.11). $\varphi_{\text{сн}}$ - ФЧХ и $A_{\text{сн}}$ - АЧХ замкнутой АСР должны быть вычислены для частот $\omega_0, 3\omega_0, 5\omega_0$ и т. д., например до $21\omega_0$. Значение ω_0 определяется как $\omega_{\text{раб}}/6$, где $\omega_{\text{раб}}$ определяется при расчете настроек.

Алгоритм построения переходных процессов на основе метода ВЧХ. Подробнее см. [22]. В основу этого метода положено известное из курса ТАУ выражение, применяемое, например, в «методе трапеций» для определения переходной характеристики устойчивой системы:

$$X(t) = \frac{2 \cdot \Delta U}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_s} \frac{\operatorname{Re} W_{\text{зам}}(j \cdot \omega) \sin(\omega \cdot t)}{\omega} d\omega \quad (6.12)$$

Основные трудности использования этого метода при расчете вручную: сложность аналитического вывода $\operatorname{Re} W_{\text{зам}}$ - вещественной частотной характеристики (ВЧХ) замкнутой системы; сложность вычисления интеграла при различных t и ω ; проблема определения значения ω_s .

Если воспользоваться, например, системой Mathcad, то эти сложности не существенны (см. приложение 2). Верхний предел интегрирования по частоте ω_s должен выбираться таким, чтобы при частоте ω_s график ВЧХ затухал после 2-4 периодов колебаний. Это хорошо видно из графика ВЧХ в приложении 2. Напомним, что свойства ВЧХ таковы, что начальная часть ее графика определяет конечную часть («хвост») графика переходного процесса, а часть ВЧХ при больших частотах начальную часть графика $x(t)$. Поэтому, если взято малое значение ω_s , то в начале графика $x(t)$ могут появиться искажения и неточности. Хорошо работает этот метод и при определении $x(t)$ объекта, например, при проверке адекватности (см. приложение 2).

7. А.В. Казаков, М.В. Кулаков, Ю.К. Мелюшев. Основы автоматизации и автоматизации химических производств. -М.: Машиностроение, 1970.-376с.

8. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. -М.: Химия, 1984. -336с.

5 Контрольные вопросы

- 1) Типовые процессы регулирования
- 2) Прямые показатели качества
- 3) Время регулирования
- 4) Корневые показатели качества.
- 5) Математические модели замкнутых АСР
- 6) Алгоритм построения переходных процессов на основе метода Акульшина
- 7) Алгоритм построения переходных процессов на основе метода ВЧХ.

1. Тема 7: Общие сведения о промышленных системах автоматического регулирования в области технологии изготовления лекарств.

2. Цель: Ознакомиться с Общие сведения о промышленных системах автоматического регулирования в области технологии изготовления лекарств..

3. Тезисы лекции:

1. *Общие сведения о промышленных системах автоматического регулирования*

а) 1 *Общие сведения о промышленных системах автоматического регулирования.*

Структурная схема АСР показана на рисунок 7.1, а **одноконтурной стабилизирующей** АСР (САУ) на рисунок 7.2, где U – вход системы (управляющий параметр, обычно это потоки вещества или энергии); X – выход системы (параметр состояния, результат измерения, обычно это тот параметр, значение которого надо поддерживать); X*- задание регулятору (уставка, это то значение X, которое надо поддерживать постоянным); S- настройки регулятора (S_п; S_и; S_д); РО - регулирующий орган; Д- датчик (измерительный преобразователь). Примером реальной АСР, соответствующей показанной на рисунок 2.2 может служить АСР теплообменника (рисунок 7.3). Примеры других АСР показаны на рисунках 7.4 – 7.8 и в

Если X* является функцией времени, то такая АСР называется «**программной**», если X* зависит от других параметров, то такая АСР называется «**следающей**». Если система имеет несколько входов, то она «**многоконтурная**», а если несколько входов и несколько выходов – «**многосвязанная**». АСР, которая реагирует на величину отклонения регулируемой величины X от ее заданного значения X* называют «**АСР по отклонению**» (см. примеры на рис 7.2-7.4). АСР, которая реагирует на величину возмущения на входе объекта называют «**АСР по возмущению**». Если в АСР компенсированы (ликвидированы) все возмущения, то она называется «**инвариантной**». В «**комбинированных АСР**» используются принципы регулирования и по отклонению и по возмущению.

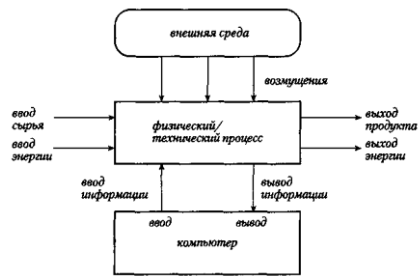


Рисунок 7.1 - Структурная схема АСР

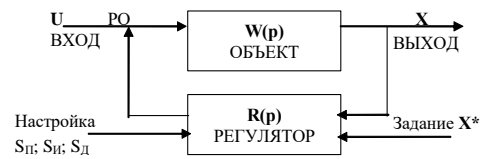


Рисунок 7.2 - Структурная схема одноконтурной АСР

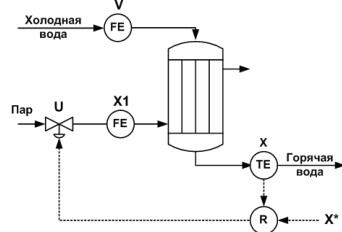


Рисунок 7.3 - Одноконтурная АСР (теплообменник)

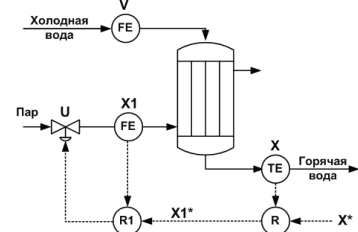


Рис 7.4 - Каскадная АСР (теплообменник)

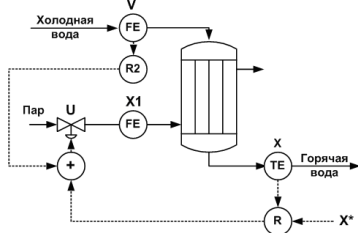


Рисунок 7.5 Комбинированная АСР (теплообменник)

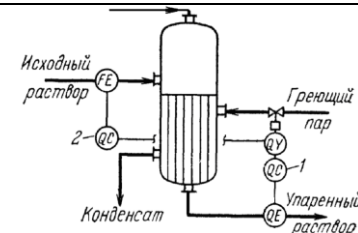


Рисунок 7.6 - Комбинированная АСР (выпарной аппарат)

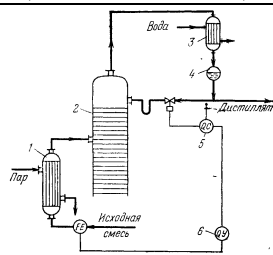


Рисунок 7.7 - Комбинированная АСР (ректификация)

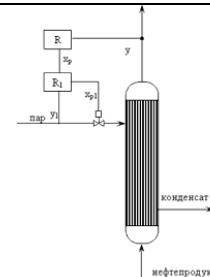


Рисунок 7.8 - Каскадная АСР (ректификация)

Основная задача расчета АСР

Основная задача расчета АСР – расчет значений параметров настройки регуляторов, которые позволяют получить устойчивый переходный процесс с требуемым характером процесса регулирования (степень затухания, степень колебательности и т.д.).

Исходными данными для расчета являются математические модели динамики объектов и требования к качеству регулирования. Цель исследования АСР – проверка результатов расчета АСР – имитационное моделирование поведения замкнутой системы регулирования.

7) ЛИТЕРАТУРА

8) ОСНОВНАЯ

1. Автоматическое управление в химической промышленности: учебник для вузов. Под ред. Дудникова Е.Г. -М.: Химия, 1987. -368с.
2. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. 871с.

9) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

3. Автоматизация типовых технологических процессов и установок. М.: Энергоатомиздат, 1988, 43 с.
4. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. -М.: Химия, 1984. -33бс.

5 Контрольные вопросы

- 1) Требования к одноконтурной стабилизирующей системе.
- 2) АСР по отклонению
- 3) АСР по возмущению
- 4) Цель исследования АСР
- 5) Структура АСР

1. Тема 8: Одноконтурные АСР. Методика аналитического определения настроек методом Циглера-Никольса.

2. Цель: Производить расчет настроек регуляторов в одноконтурной АСР методом незатухающих колебаний.

3. Тезисы лекции:

1. Теоретические основы метода
2. Расчет настроек в одноконтурной АСР методом, основанном на использовании РАФХ

1 Теоретические основы метода

Теоретические основы метода. Идея метода заключается в том, что сначала считают, что использован только П - регулятор, который, меняя значение S_P настраивают так, чтобы замкнутая АСР находилась на границе устойчивости. Настройки рассчитывают с использованием эмпирических формул. Таким образом: принимают $S_I=0$ и $S_D=0$, после чего рассчитывают или определяют экспериментально критическое значение настройки S_P^* и соответствующее ему значения критической частоты ω^* , обеспечивающих вывод системы на границу устойчивости (т.е. определяют то значение $S_P = S_P^*$, когда на выходе АСР будут возникать незатухающие колебания X), а затем рассчитывают S_P ; S_I ; S_D на основе значений S_P^* и ω^* по формулам в таблице 8.1:

Табл.8.1 – Формулы для настройки регуляторов

Регулятор	S_P	S_I	S_D
ПИД	$0.60 \cdot S_P^*$	$0.192 \cdot S_P^* \cdot \omega^*$	$0.471 \cdot S_P^* / \omega^*$
ПИ	$0.45 \cdot S_P^*$	$0.086 \cdot S_P^* \cdot \omega^*$	---
П	$0.50 \cdot S_P^*$	---	---

Методика аналитического определения настроек методом Циглера-Никольса.

При аналитическом методе расчета для определения значений критической частоты ω^* и критической настройки S_P^* используют условия:

$$\varphi_{id}(\omega) = -\pi \tag{8.1}$$

$$S_i^* = 1/A_A(\omega^*) \quad (8.2)$$

где $\varphi_{об}$ и $A_{об}$ соответственно фаза (ФЧХ) и амплитуда (АЧХ) частотных характеристик объекта, они получаются аналитически путем подстановки выражения $p = j \cdot \omega$ в $W(p)$ и последующих преобразований. Для контрольного примера имеем выражения:

$$W(p) = \frac{0.7}{1+6 \cdot p} \cdot \exp(-5 \cdot \tau) \quad (8.3)$$

$$\varphi_{ид}(\omega) = -\arctg(6 \cdot \omega) - 5 \cdot \omega \quad (8.4)$$

$$A_{iA} = \frac{0.7}{\sqrt{1+(6 \cdot \omega^*)^2}} \quad (8.5)$$

Ход расчета настроек следующий. Воспользовавшись равенством (8.1) и построенным графиком ФЧХ объекта, находим значение критической частоты ω^* , как частоту, соответствующую углу $-\pi$ (см. рисунок 8.1).

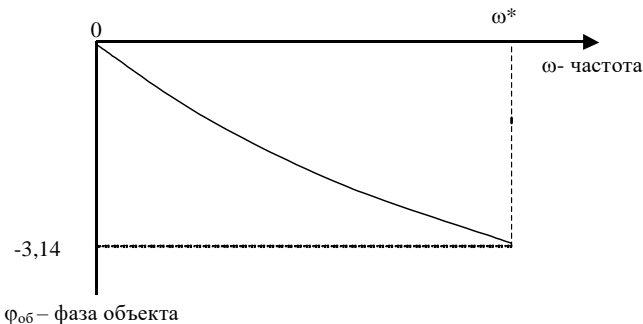


Рисунок 8.1 - График ФЧХ, построенный по уравнению(8.1).

Найденное значение частоты (для примера (8.3), это $\omega^*=0.394$) подставляют в (8.2) и из (8.3) определяют $S_{П}^*$ (для примера с передаточной функцией (8.3), это $S_{П}^* = 3.668$). Далее по формулам из табл. 8.1 определяют настройки П, ПИ, ПИД - регуляторов (в примере : $S_{П}=2.2009$; $S_{И}=0.2777$; $S_{Д}=4.3832$).

і) 2 Расчет настроек в одноконтурной АСР методом, основанном на использовании РАФХ.

Теоретические основы метода. Подробное описание, см. методические указания к лабораторной работе №4.[10]. Между m и одним из прямых показателей качества переходного процесса ψ - степенью затухания имеется приблизительная связь вида:

$$\psi = 1 - \exp(-2 \cdot \pi \cdot m) \text{ откуда:} \quad (8.6)$$

$$m = -\log(1 - \psi) / (2 \cdot \pi). \quad (8.7)$$

Основные уравнения для расчета ($\gamma = \omega \cdot (1 + m^2)$):

$$S_E = S_A \cdot \omega \cdot \gamma - IM(W) \cdot \gamma / A^2(W) \text{ и} \quad (8.8)$$

$$S_I = 2 \cdot S_A \cdot m \cdot \omega - (\text{Re}(W) + m \cdot \text{Im}(W)) / A^2(W). \quad (8.9)$$

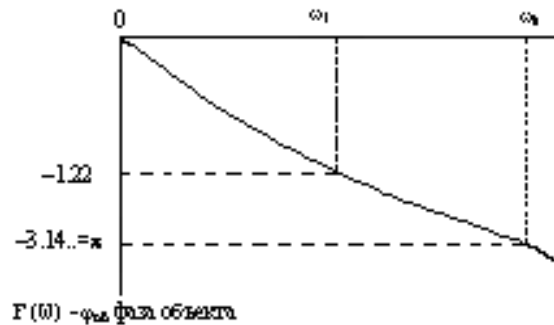
Другой вид этих уравнений:

$$S_E = S_A \cdot \omega \cdot \gamma - \sin(F(W)) \cdot \gamma / A(W) \text{ и} \quad (8.10)$$

$$S_I = 2 \cdot S_A \cdot m \cdot \omega - (m \cdot \sin(F(W)) + \cos(F(W))) / A(W) \quad (8.11)$$

Методика аналитического определения настроек методом, основанном на использовании РАФХ. См приложения 3 и 4.

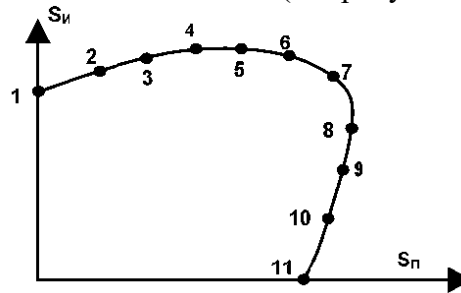
1).вывести аналитические выражения для РАФЧХ объекта: (фаза и модуль); построить график РФЧХ; (см. рисунок 8.2), при помощи которого определить значения ω_1 и ω_k , как частоты соответствующие $F(W) = -70$ и $F(W) = -180$ град.



1.
Рисунок 8.2 - График РФЧХ.

2) рассчитать по выведенному аналитическому выражению РАЧХ численные значения для 10-15 значений $F(W)$ и $A(W)$;

3) по формулам (8.8-8.9) или (8.10-8.11) рассчитать значения S_n и S_i и построить график равной степени колебательности (см. рисунок 8.3). Принимаем $S_d=0$;



3.
Рисунок 8.3 – Линия равной степени колебательности в плоскости параметров настройки ПИ - регулятора

4) из полученного графика определить значения S_n , S_i и рабочей частоты $\omega_{раб}$ для нескольких точек (3-5), лежащих правее экстремума;

5) провести компьютерное моделирование переходных процессов в замкнутой АСР;

6) по результатам моделирования построить графики переходных процессов;

7) для заданного значения статической ошибки $x_{ст}$ определить время регулирования t_p для каждого из полученных переходных процессов. Значения S_n , S_i и $\omega_{раб}$ соответствующее графику с минимальным временем регулирования принять за оптимальные для ПИ - регулятора;

8) начинаем расчет настроек ПИД - регулятора; для этого надо при найденном оптимальном значении рабочей частоты $\omega_{раб}$ пересчитать по формулам (8.8-8.9) или (8.10-8.11) значения S_n и S_i .после последовательной подстановки $S_d=1$; $S_d=5$; $S_d=50$ и т.п. (обычно необходимы пробы для выбора S_d)

9) повторить этап 2, но уже для ПИД - регулятора, после нахождения переходного процесса с минимальным временем регулирования расчет заканчиваем;

10) построить графики для всех полученных переходных процессов в одном масштабе, нанести на него заданные значения $x_{ст}$ и t_p ;

10) ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПРИМЕР ВЫВОДА ВЫРАЖЕНИЙ РАЧХ

Пусть:

$$W(p) = \frac{0.7}{1 + 6 \cdot p} \cdot \exp(-5 \cdot p)$$

после подстановки в $W(p)$:



$$p = -m \cdot \omega + j \cdot \omega$$

получаем:

$$W(m, j\omega) = \frac{0.7 \cdot \exp(-5 \cdot (-m \cdot \omega + j \cdot \omega))}{1 + 6 \cdot (-m \cdot \omega + j \cdot \omega)}$$

Представим знаменатель этого выражения в показательном виде:

$$A_{3H} \cdot \exp(j \cdot F_{3H})$$

где

$$A_{3H} = \sqrt{\operatorname{Re}_{3H}^2 + \operatorname{Im}_{3H}^2} = \sqrt{(1 - 6 \cdot m \cdot \omega)^2 + 36 \cdot \omega^2} \text{ и}$$

$$F_{3H} = \operatorname{arctg}\left(\frac{6 \cdot \omega}{1 - 6 \cdot m \cdot \omega}\right)$$

Очевидно, что

$$\exp(5 \cdot m \cdot \omega - 5 \cdot j \cdot \omega) = \exp(5 \cdot m \cdot \omega) \cdot \exp(-j \cdot \omega)$$

тогда подставляя найденные выражения в $W(p)$, с учетом того, что $m=0.3$ получим :

$$W(p) = \frac{0.7 \cdot \exp(5 \cdot m \cdot \omega)}{\sqrt{(1 - 1.8 \cdot \omega)^2 + 36 \cdot \omega^2}} \cdot \exp(-5 \cdot \omega - \operatorname{arctg}\left(\frac{6 \cdot \omega}{1 - 1.8 \cdot \omega}\right))$$

Таким образом, модуль (амплитуда) и фаза объекта соответственно равны:

$$A(\omega) = \frac{0.7 \cdot \exp(5 \cdot m \cdot \omega)}{\sqrt{(1 - 1.8 \cdot \omega)^2 + 36 \cdot \omega^2}}, \dots$$

$$\dots F(\omega) = -5 \cdot \omega - \operatorname{arctg}\left(\frac{6 \cdot \omega}{1 - 1.8 \cdot \omega}\right)$$

11) ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ПРИМЕР РАСЧЕТА НАСТРОЕК МЕТОДОМ РАФХ

■ ПРИМЕР РАСЧЕТА НАСТРОЕК ПИ РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ РАФХ

$$W(p) := \frac{0.7 \cdot \exp(-5 \cdot p)}{(1 + 6 \cdot p)} \quad m := 0.3 \quad p(\omega) := -m \cdot \omega + \omega \cdot i \quad \omega := 0, 0.025 \dots 0.4$$

$$R(\omega) := \operatorname{Re}(W(p(\omega))) \quad I(\omega) := \operatorname{Im}(W(p(\omega))) \quad A(\omega) := \sqrt{I(\omega)^2 + R(\omega)^2}$$

$$F(\omega) := \operatorname{if}(\arg(W(p(\omega))) > 0, \arg(W(p(\omega))) - 2 \cdot \pi, \arg(W(p(\omega))))$$

$$\omega\omega := \operatorname{root}(F(\omega\omega) + 3.14, \omega\omega) \quad \omega\omega = 0.3489$$

$$\omega 1 := \operatorname{root}(F(\omega\omega) + 1.22, \omega\omega) \quad \omega 1 = 0.1082$$

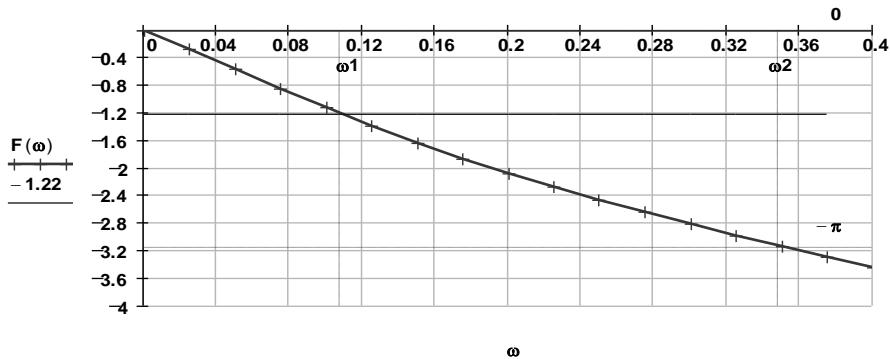


Рис. 2а. График расширенной ФЧХ объекта

$$N := 20 \quad \Delta\omega := \omega 1 + \frac{(\omega 2 - \omega 1)}{N + 1} \quad \gamma(\omega) := \omega \cdot (1 + m \cdot m) \quad \omega := \omega 1, \Delta\omega \dots \omega 2$$

$$SI(\omega) := -\left(\sin(F(\omega)) \cdot \frac{\gamma(\omega)}{A(\omega)}\right) \quad SP(\omega) := \frac{-(m \cdot \sin(F(\omega)) + \cos(F(\omega)))}{A(\omega)}$$

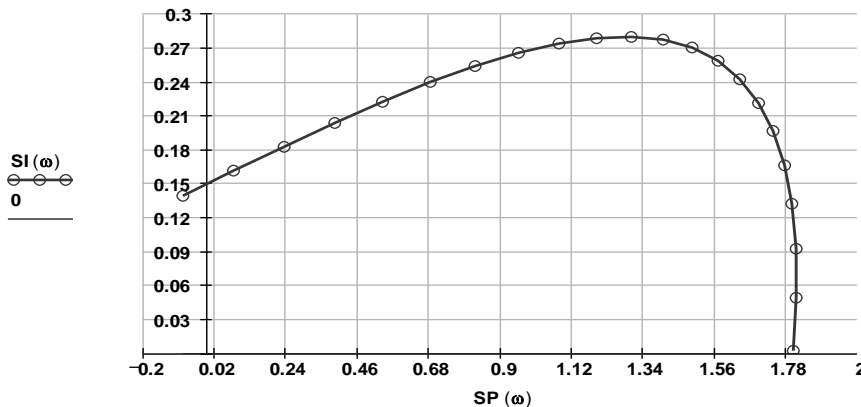


Рис. 3а. Линия равной степени колебательности

Файл РАФЧХ.MCD Инков А.М.

12) ЛИТЕРАТУРА

13) ОСНОВНАЯ

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Профессия, 2003.
2. Плютто В.П. Практикум по теории автоматического управления химико - технологическими процессами. Цифровые системы. -М.: Химия, 1989, -168с.

14) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

3. А.В. Казаков, М.В. Кулаков, Ю.К. Мелюшев. Основы автоматики и автоматизации химических производств. -М.: Машиностроение, 1970.-376с.
4. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. -М.: Химия, 1984. -336с.

5 Контрольные вопросы

- 1) Одноконтурные АСР.

- 2) Методика аналитического определения настроек методом Циглера-Никольса.
- 3) Метод, основанный на использование РАФХ
- 4) П, ПИ, ПИД регуляторы

1. Тема 9: Каскадные АСР

2. Цель: Ознакомиться с методикой расчета настроек в каскадных АСР.

3. Тезисы лекции:

1. Теоретические основы расчета настроек в каскадных АСР

1 Теоретические основы расчета настроек в каскадных АСР

Теоретические основы расчета настроек в каскадных АСР. Основным отличием каскадной (см. рисунок 9.18) АСР является наличие двух регуляторов – основного (внешнего) регулятора, служащего для стабилизации основного выхода объекта X, и вспомогательного (внутреннего) регулятора, предназначенного для регулирования вспомогательного параметра X₁. Заданием для вспомогательного регулятора служит выходной сигнал основного регулятора. При этом вспомогательный регулятор поддерживает значение вспомогательного параметра на определенном уровне, необходимом для стабилизации основного параметра.

Таким образом, расчёт каскадной АСР сводится к определению настроек основного и вспомогательного регуляторов при заданных значениях динамических характеристиках объекта управления по основному и вспомогательному каналам. Поскольку настройки основного и вспомогательного регуляторов взаимозависимы, расчёт настроек проводят методом итераций.

На каждом шаге итерации рассчитывают приведённую одноконтурную АСР, в которой один из регуляторов условно относится к эквивалентному объекту

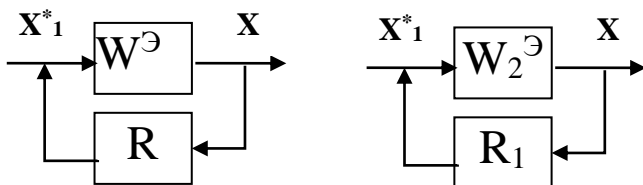


Рисунок 9.1

Эквивалентный объект для основного регулятора представляет собой последовательное соединение замкнутого вспомогательного контура и основного регулятора. Передаточная функция эквивалентного объекта имеет следующий вид:

$$W^\epsilon = \frac{R1(p) \cdot W(p)}{1 - W1(p) \cdot R1(p)} \tag{9.1}$$

Эквивалентный объект для вспомогательного регулятора является параллельным соединением вспомогательного канала и основной разомкнутой системы. Его передаточная функция равна:

$$W1^\epsilon = W1(p) - W(p) \cdot R(p) \tag{9.2}$$

На первом шаге расчётов принимают:

$$W^{\epsilon 0} = \frac{W(p)}{W1(p)} \tag{9.3}$$

или:

$$W1^{(1)} = W1(p) \quad (9.4)$$

Если расчет начинают с главного регулятора, то, используя метод Циглера-Никольса, последовательно используют:

- 1а). ур-ие (9.3), определяя настройки $S_{П}^{(1)}$ и $S_{И}^{(1)}$ подставляя их в (9.2)
- 1б). ур-ие (9.2), определяя настройки $S_{П}^{(1)}$ и $S_{И}^{(1)}$ подставляя их в (9.1)
- 2а). ур-ие (9.1), определяя настройки $S_{П}^{(2)}$ и $S_{И}^{(2)}$ подставляя их в (9.2)
- 2б). ур-ие (9.2), определяя настройки $S_{П}^{(2)}$ и $S_{И}^{(2)}$ подставляя их в (9.1)
- 3а). уравнение (9.1), определяя настройки $S_{П}^{(3)}$ и $S_{И}^{(3)}$ подставляя их в (9.2)
- 3б). уравнение (9.2), определяя настройки $S_{П}^{(3)}$ и $S_{И}^{(3)}$ подставляя их в (9.1)
- 4а). уравнение (9.1), определяя настройки $S_{П}^{(4)}$ и $S_{И}^{(4)}$ подставляя их в (9.2)
- 4б). ур-ие (9.2), определяя настройки $S_{П}^{(4)}$ и $S_{И}^{(4)}$ подставляя их в (9.1)

и т.д. пока не будет удовлетворяться условие, когда:

$$S_{П}^{(i)} \approx S_{П}^{(i+1)} \quad S_{И}^{(i)} \approx S_{И}^{(i+1)} \quad S_{И}^{(i)} \approx S_{И}^{(i+1)} \quad S_{И}^{(i)} \approx S_{И}^{(i+1)}$$

Обозначение \approx означает, примерное равенство, т.е. равенство, когда абсолютная или относительная ошибка становится меньше допустимой. Иначе говоря, расчёт продолжают до тех пор, пока настройки регуляторов, найденные в двух последовательных итерациях, не совпадут с заданной точностью.

15) ЛИТЕРАТУРА

16) ОСНОВНАЯ

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Профессия, 2003.

17) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

2. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. -М.: Химия, 1984. -336с.

5 Контрольные вопросы

- 1) Каскадные АСР.
- 2) Теоретические основы расчета настроек в каскадных АСР
- 3) П, ПИ, ПИД регуляторы

1. Тема 10: Цифровые АСР. Особенности и структура цифровой системы управления

2. Цель: Ознакомиться с особенностями и структурой цифровой системы управления.

3. Тезисы лекции:

1. Особенности и структура цифровой системы управления
2. Математические модели объектов в цифровых системах
3. Алгоритм цифрового управления
 - і) Особенности и структура цифровой системы управления.

Для обработки в компьютерных системах управления данные должны быть представлены в дискретном виде. Это происходит в результате квантирования по времени в результате периодического опроса датчиков с периодом T_0 и аналого-цифрового преобразования (АЦП). При АЦП производится квантирование по уровню, в результате чего значение сигнала для момента времени j представляется числовым кодом – целым числом шагов квантирования размера:

$$\Delta = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{2^N - 1} \quad (10.1)$$

где X_{MAX} и X_{MIN} соответственно наибольшее наименьшее значения диапазона измерения датчика, N - разрядность АЦП (обычно 8..16). При правильно выбранном N влияние квантирования по уровню на точность представления X_j практически незаметно.

$$X_j^{\dot{o}} = \text{int} \left[\frac{X_j}{\Delta} \right] \cdot \Delta$$

Если исходное значение переменной X_j , то после АЦП это:

$$(10.2)$$

$\text{int}[\cdot]$ означает взятие целой части от выражения в квадратных скобках, например $\text{int}[7.589] = 7$.

ii)

iii) 2 Математические модели объектов в цифровых системах.

Математические модели в цифровых системах управления записываются в виде рекуррентных разностных уравнений.

Если математическая модель ТОО представлена передаточной функцией вида (10.5) и использован фиксатор нулевого порядка, то выход объекта в цифровом виде для момента времени T_j определяется как:

$$X_j = A \cdot X_{j-1} + B \cdot U_{j-D} \quad (10.3)$$

где $A = \exp(-T_o/T)$, $B = (1-A) \cdot C$, $D = [\tau/T_o]$ (10.4)

Уравнение (10.4) является разностным эквивалентом непрерывного уравнения объекта (10.3) для дискретных моментов времени $j = 1, 2, 3, \dots$

b) 3 Алгоритм цифрового управления

Из выражения (4.2), применяя операции численного интегрирования и дифференцирования можно получить выражение для цифрового ПИД - регулятора:

$$U_j = U_{j-1} + Q_{II} \cdot E_j + Q_{II} \cdot E_{j-1} + Q_{D} \cdot E_{j-2}, \quad (10.6)$$

где $E_j = X_j - X^*$. (10.7)

В цифровых регуляторах часто используют подключение экспоненциального фильтра с передаточной функцией (4.6), это в цифровом виде соответствует выражению:

$$\tilde{X}_j = \gamma \cdot X_j + (1-\gamma) \cdot \tilde{X}_{j-1}, \quad (10.8)$$

где \tilde{X}_j и X_j - отфильтрованное и измеренное значения выхода объекта для текущего шага j ; \tilde{X}_{j-1} - результат фильтрации на предыдущем шаге; γ - постоянный коэффициент (настройка фильтра, $0 \leq \gamma \leq 1$, $\gamma = \frac{1}{T_o}$).

Фрагмент алгоритма ПИД - регулятора с фильтром для j -ого шага управления можно представить в виде:

- **опрос датчика: получение X_j**
- **фильтрация от помех: $\tilde{X}_j = \gamma \cdot X_j + (1-\gamma) \cdot \tilde{X}_{j-1}$**
- **расчет ошибки: $E_j = \tilde{X}_j - X^*$**
- **расчет выхода: $U_j = U_{j-1} + Q_I \cdot E_j + Q_{II} \cdot E_{j-1} + Q_{D} \cdot E_{j-2}$**
(только для самого первого шага $U_j = U_{j-1} + Q_I \cdot E_j$)

i) Методы и примеры расчета цифровых регуляторов в одноконтурных АСР

Настройки Q_i , Q_E , Q_A можно, например, приближенно определить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Q_A &= 3/\tilde{N} \\ Q_i &= Q_A \cdot (1 + 0.22 \cdot T/\tau) \\ Q_E &= -2 \cdot Q_A \cdot (1 + 0.1 \cdot T/\tau) \end{aligned} \right\} (10.9)$$

Или исходя из известных настроек S_i , S_E , S_A по формулам:

$$\left. \begin{aligned} Q_A &= S_A/T_i \\ Q_i &= S_i + S_E \cdot T_i/2 + Q_A \\ Q_E &= -(S_i - S_E \cdot T_i/2 + 2 \cdot Q_A) \end{aligned} \right\} (10.10)$$

Алгоритм цифрового управления для одноконтурной АСР. Алгоритм реализации цифровой одноконтурной АСР для ПИ регулятора без накопления всех значений X_j , E_j и U_j , № - это шаг алгоритма:

- №0. Только для самого первого шага опроса: $U1=0$; $E1=0$
- №1. Опрос датчика входного сигнала – получение X
- №2. Определение ошибки рассогласования: $E=X-X^*$
- №3. Расчет выхода регулятора: $U=U1+Q_{PE}E+Q_{PI}E1$
- №4. Запоминание e для использования на следующем шаге: $E1=E$
- №5. Запоминание u для использования на следующем шаге: $U1=U$
- №6. Воздействие на исполнительный механизм
- №7. Переход к №1

Здесь исходными данными являются X , X^* , Q_i , Q_E .

Алгоритм цифрового управления для каскадной АСР. Алгоритм реализации цифровой каскадной АСР с ПИ регуляторами:

- №0. Только для самого первого шага: $UГ1=0$; $EГ1=0$; $UB1=0$; $EB1=0$
- №1. Опрос датчика главного входного сигнала – получение $XГ$
- №2. Определение ошибки рассогласования: $EГ=XГ - X^*$
- №3. Расчет выхода главного регулятора: $UГ = UГ1+QПЕГ+QИЕГ1$
- №4. Опрос датчика вспомогательн. входного сигнала – получение $XВ$
- №5. Определение ошибки рассогласования: $EВ=XВ - UГ$
- №6. Расчет выхода вспомогательного регулятора: $UB=UB1+QПЕВ+QИЕВ1$
- №7. Запоминание ошибок E : $EГ1= EГ$; $EВ1= EВ$
- №8. Запоминание выходов u : $UГ1= UГ$; $UB1= UB$
- №9. Воздействие на исполнительный механизм
- №10. Переход к №1

Исходными данными являются X_A , X_A^* , X^* , Q_i , Q_E , Q_{i1} , Q_{E1} .

18) ЛИТЕРАТУРА

19) ОСНОВНАЯ

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Профессия, 2003.
2. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. 871с.

20) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

3. А.В. Казаков, М.В. Кулаков, Ю.К. Мелюшев. Основы автоматики и автоматизации химических производств. -М.: Машиностроение, 1970.-376с.

4. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. -М.: Химия, 1984. -336с.

5 Контрольные вопросы

- 1) Математические модели в цифровых системах управления.
- 2) Цифровые регуляторы
- 3) Алгоритм цифрового управления для одноконтурной АСР
- 4) Алгоритм цифрового управления для каскадной АСР
- 5) Критерий управляемости

1. Тема 11: Математические модели автоматических регуляторов, используемые при расчете АСР.

2. Цель: Ознакомиться с математическими моделями автоматических регуляторов.

3. Тезисы лекции:

1. *Законы регулирования аналоговых регуляторов и принципы их выбора.*
2. *Законы регулирования в оптимальных и адаптивных АСР*

1 Законы регулирования аналоговых регуляторов и принципы их выбора.

Законы регулирования аналоговых регуляторов и принципы их выбора.

Автоматический регулятор является устройством, которое реагирует на сигнал (ошибку) рассогласования $\varepsilon = E = X - X^*$ и осуществляет воздействие на регулируемый орган по определенному закону (правилу). Существуют несколько основных **непрерывных** законов, по которым возможно осуществление перемещения регулирующего органа, например: позиционный; интегральный; пропорциональный, дифференциальный и ряд сочетаний (комбинаций) из трех последних.

В регуляторах П, ПИ, ПИД, ПИДД и т.п. обеспечивается **непрерывное** изменение выходного сигнала в зависимости от величины ошибки рассогласования.

Уравнение ПИД - регулятора как функции ошибки:

$$U_p(t) = S_I \cdot \varepsilon(t) + S_E \cdot \int_0^{T_p} \varepsilon(t) \cdot dt + S_A \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (11.1)$$

что соответствует передаточной функции:

$$R(p) = S_I + S_E / p + S_A \cdot \delta. \quad (11.2)$$

Иногда используют другие обозначения, например:

$$R(p) = -(S_1 + S_0/p + S_2 \cdot \delta) \quad (11.3)$$

Знак минус в (11.3) подчеркивает то, что регулятор воздействует по принципу отрицательной обратной связи. Удобнее использовать вид $R(p)$ со знаком плюс, тогда не надо изменять общепринятые выражения для передаточных функций замкнутых систем с обратной связью.

Так называемый стандартный «учебный» аналоговый ПИД - регулятор:

$$R(p) = K_I \cdot \left(1 + \frac{1}{T_E \cdot p} + \frac{T_A \cdot p}{1 + T_D \cdot p}\right) \quad (11.4)$$

где $T_\Phi = T_D / N_\Phi$, где $T_\Phi = 3..10$.

Значение T_Φ обычно находят специальными методами методом или путем подбора. Необходимость ввода в $R(p)$ фильтра, например с передаточной функцией в виде аperiодического звена:

$$W_o(p) = \frac{1}{1 + T_o \cdot p} \quad (11.5)$$

вызвано тем, что операция дифференцирования очень чувствительна к помехам.

Применяются регуляторы и с другими передаточными функциями, например ПИД – регулятор с компенсацией запаздывания:

$$R(p) = (S_I + S_E / p + S_A \cdot \delta) \cdot (1 - \exp(-p\tau)) \quad (11.6)$$

ПИДД – регулятор:

$$R(p) = S_I + S_E / p + S_A \cdot \delta + S_{A1} \cdot \delta^2. \quad (11.7)$$

Кроме непрерывных алгоритмов регулирования применяются и дискретные. Двухпозиционное регулирование - это простейший вид **дискретного** регулирования, широко распространенный в промышленности и быту. Эти регуляторы просты, дешевы и могут быть легко настроены для большинства процессов. Как следует из самого названия регулятора возможно два положения регулирующего органа: полное закрытие или, полное открытие. Если весь ход регулирующего органа обозначить за 100%, то регулятор скачком переводит регулирующий орган из положения. 0 в положение 100% и наоборот. Очевидно, что закон регулирования двухпозиционного регулятора не является пропорциональным, и, следовательно, система регулирования с таким регулятором не является непрерывной. Регулятор оказывает максимально возможное воздействие на объект, полностью открывая приток (или сток) энергии (или вещества) в процессе или полностью закрывая его. В связи с этим, процесс регулирования в системе с двухпозиционным регулятором имеет колебательный, незатухающий характер. Это обстоятельство является значительным недостатком двухпозиционных регуляторов, а также причиной того, что такой способ регулирования применяется на малоответственных процессах, где допустимы значительные колебания регулируемого параметра (установки кондиционирования, холодильники и т. п.).

Условно закон регулирования двухпозиционного регулятора может быть записан в виде:

$$U_p(t) = 0 \quad \text{при } \varepsilon < 0 \quad (11.8)$$

$$U_p(t) = U_p^{\max} \quad \text{при } \varepsilon > 0.$$

Сравнительная качественная картина переходных процессов при разных непрерывных законах регулирования в правильно настроенной АСР показана на рисунке 11.1.

2 Законы регулирования в оптимальных и адаптивных АСР

В **«оптимальных АСР»** управляющее воздействие U вырабатывается по такой стратегии, чтобы обеспечить экстремальное значение некоторого заданного критерия управления. На практике часто используют т.н. типовые законы (алгоритмы) регулирования (П, ПИ, ПИД и др., см ниже) их выходной сигнал вырабатывается на основе учета ошибки регулирования равной $X-X^*$, а также скорости и интеграла ее изменения. Для расчета оптимальных значений настроек (S_P ; S_I ; S_D) таких регуляторов обычно требуется иметь математическую модель (ММ) объекта регулирования. В **«адаптивных АСР»** управление ведется пошагово: на каждом отдельном шаге (этапе) стратегии управления поочередно автоматически решаются задачи оценки параметров ММ и выработки оптимального для данного шага управляющего воздействия U. На следующем шаге управления параметры ММ уточняются или оцениваются заново и вырабатывается очередное значение U и т.д.

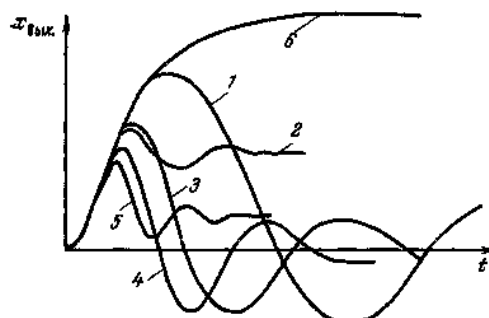


Рисунок 11.1 - Переходные процессы в АСР при различных законах регулирования: 1-И-регулятор; 2 П-регулятор; 3 - ПИ-регулятор; 4- ПИД-регулятор; 5- ПД-регулятор; 6 - кривая разгона (без регулятора).

21) ЛИТЕРАТУРА

22) ОСНОВНАЯ

1. Плютто В.П. Практикум по теории автоматического управления химико - технологическими процессами. Цифровые системы. -М.: Химия, 1989, -168с.
2. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. 871с.

23) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Профессия, 2003.
4. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. -М.: Химия, 1984. -336с.

5 Контрольные вопросы

- 1) Основные **непрерывные** законы.
- 2) П, ПИ, ПИД, ПИДД регуляторы
- 3) **Дискретное** регулирование
- 4) Оптимальные АСР
- 5) Адаптивные АСР

1. Тема 12: Дистанционные, следящие системы программного управления. Дистанционные передачи угла на постоянном токе. Дистанционные передачи на переменном токе

2. Цель: Построение дистанционной передачи угла на постоянном и переменном токе.

3. Тезисы лекции:

1. *Дистанционные передачи угла на постоянном токе*
2. *Дистанционные передачи на переменном токе*

1 Дистанционные передачи угла на постоянном токе

Электрические дистанционные передачи используются в тех случаях, когда электромеханическая система, управляемая с помощью чувствительного элемента и этот элемент расположен на таком расстоянии, что осуществить механическую связь между ними невозможно.

В этих случаях механическое перемещение вначале преобразуется в электрический сигнал с помощью электрического датчика, а затем с помощью электрического приёмника

происходит обратное преобразование электрического сигнала в механическое перемещение. Передачи построенные по такому типу называют синхронными.

Под системой синхронной связи понимают устройство (совокупность устройств), которое обеспечивает электрическими средствами синхронность перемещения двух или нескольких органов, в частном случае осей, механически не связанных между собой, с той или иной точностью.

Область применения

Системы синхронной связи могут служить для самых разнообразных целей:

- 1) они применяются для измерения на расстоянии различных величин;
- 2) в приборах передачи команд;
- 3) в приборах сигнализации;
- 4) в аппаратах контроля за протеканием каких либо процессов;
- 5) в САР и усилителях;
- 6) в счётно-решающих приборах.

Всякая система синхронной связи состоит из 3 основных частей:

- 1) задающего или ведущего устройства, называемого датчиком;
- 2) линии связи;
- 3) принимающего или ведомого устройства, называемого приёмником.

Перемещение датчика и приёмника, а также и приводимых ими в движение устройств, могут быть как угловыми, так и линейными. Чаще всего применяют системы с угловым перемещением или непрерывным вращением осей. В соответствии с этим различают 2 вида: системы синхронной передачи угла и системы синхронного вращения.

Системы синхронной передачи угла должны передать синхронно угол поворота, в этом случае приёмник и датчик должны вращаться не только синхронно, но и синфазно, т.е. не иметь угла рассогласования.

В системах передачи вращения важно, чтобы оси вращались синхронно, угол рассогласования между датчиком и приёмником не играет существенной роли.

Под основными величинами систем синхронной передачи понимают такие, которые определяют поведение этих систем, а под характеристиками - изменение этих величин во времени или в зависимости от каких-либо других параметров.

К основным величинам относятся:

- 1) удельный синхронизирующий момент;
- 2) статический максимальный синхронизирующий момент;
- 3) динамический максимальный синхронизирующий момент;
- 4) статические ошибки работы системы;
- 5) динамические ошибки работы системы.

Основной характеристикой большинства систем синхронных передач угла является зависимость статического синхронизирующего момента от угла рассогласования Θ между роторами датчика и приёмника в положении покоя.

Под удельным синхронизирующим моментом M_y понимают момент, развиваемый на валу приёмника при его рассогласовании с датчиком на 1 градус.

Под максимальный статическим синхронизирующим моментом $M_{ст.макс}$ понимают максимальный момент, развиваемый системой на валу приёмника (при его рассогласовании с датчиком) в положении покоя.

Под максимальным динамическим синхронизирующим моментом понимают максимальный момент, развиваемый системой на валу приёмника (при его рассогласовании с датчиком) в режиме синхронного вращения.

Статическая ошибка $\Theta_{ст}$ представляет собой угол рассогласования между датчиком и приемником после отработки системой заданного угла и прихода ее в положение покоя.

Динамическая ошибка определяется углом рассогласования системы при вращении.

По величине моментов, развиваемых приёмниками систем синхронных передач, они делятся на индикаторные, систему управления и силовые.

$M_{ст} = f(\Theta)$ - основная характеристика - зависимость статического синхронизирующего момента от угла рассогласования (Рисунок 12.1).

Характеристика $M_{ст} = f(\Theta)$ определяется крутизной в начальной части и максимальным статическим моментом при определённом значении угла рассогласования.

$$tq\beta = M_y = \left. \frac{dM_{ст}}{d\Theta} \right|_{\Theta=0} \quad (12.1)$$

Характеризует величину удельного момента M_y , следовательно точность работы системы.

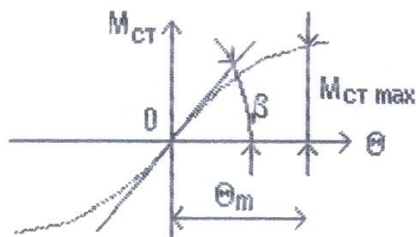


Рисунок 12.1 - Зависимость статического синхронизирующего момента от угла рассогласования

2 Дистанционные передачи на переменном токе

Датчик и приемник этих передач по принципу действия устроены одинаково и представляют собой синхронные машины.

Применяются однофазные машины, которые выполняются по типу асинхронных машин с контактными кольцами. В маломощных системах применяются бесконтактные индукционные машины.

Различают следующие типы индукционных систем синхронной связи:

- 1) индукционные системы с однофазной первичной и вторичной обмоткой;
- 2) однофазные индукционные системы с трехфазной вторичной обмоткой;
- 3) трехфазные индукционные системы.

Достоинства индукционной системы с однофазной первичной и вторичной обмоткой (Рисунок 12.2):

- 1) простота устройства;
- 2) способность согласовываться при углах рассогласования до 90^0 .

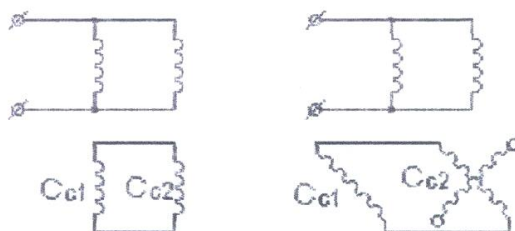


Рисунок 12.2 - Однофазная первичная и вторичная обмотка индукционной системы
Недостатки:

- 1) каждому положению ротора датчика соответствует два устойчивых положения ротора приёмника;
- 2) отсутствует синхронизация при $\Theta > 90^\circ$;
- 3) величина синхронизирующего момента при одном и том же Θ зависит от угла поворота системы из исходного положения.

Данная система применяется для дистанционной передачи углов поворота, не превосходящих 90° .

Однофазные индукционные системы с трехфазной вторичной обмоткой не имеют этих недостатков. Достоинства этой системы - способность к самосинхронизации как во время передачи, так и в момент включения в сеть при любом положении ротора машин данной системы.

Применяются в качестве различных указателей приборов синхронной связи, в счетно- решающих приборах.

Т.к. система обладает свойствами самосинхронизации, то машины называются самосинхронизирующими или сельсинами.

Сельсины выполняются либо с распределенной первичной обмоткой, по типу асинхронных машин с короткозамкнутым ротором, либо с расположением первичной обмотки на двух явно выраженных полюсах. Характеристика синхронизирующего момента $M_{\text{син}} = f(\Theta)$ имеет большую крутизну в начальной части. Вторичная обмотка располагается в пазах и представляет собой нормальную трехфазную обмотку, соединенную звездой или треугольником. Для звезды свободные концы фазных обмоток присоединяются к трем контактными кольцам, расположенным на валу.

Согласованное положение сельсинов и несогласованное положение сельсинов представлено соответственно на рисунках 12.3 и 12.4.

Если нагрузка на сельсине-приемнике значительная, то в таких системах используются однофазные сельсины, работающие в трансформаторном режиме (Рисунок 12.5).

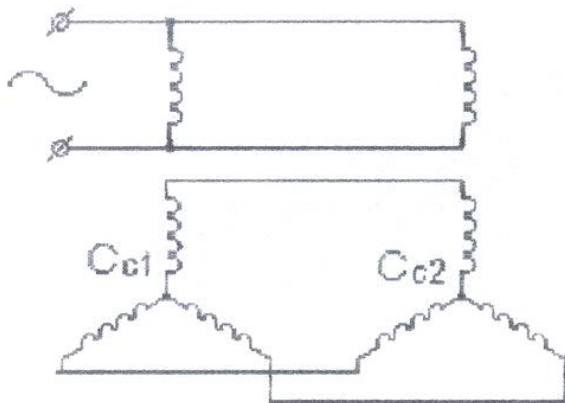
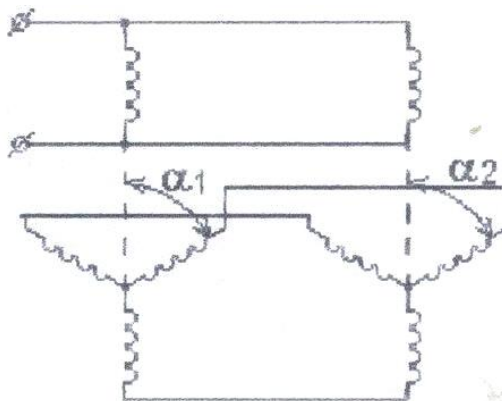
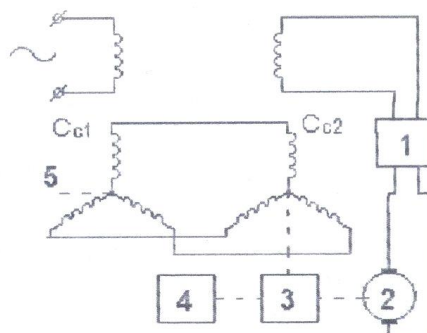


Рисунок 12.3 - Согласованное положение сельсинов



α_1 - угол между первой фазой обмотки ротора и осью первичной обмотки C_{c1} датчика; α_2 - то же для сельсина-приемника C_{c2} ; $\Theta = \alpha_1 + \alpha_2$ - угол рассогласования;

Рисунок 12.4 - Несогласованное положение сельсинов



1 - усилитель; 2 - двигатель; 3 - редуктор; 4 - нагрузка; 5 - ведущий вал.

Рисунок 12.5 - Сельсин, работающий в трансформаторном режиме

Напряжение питания то сети подается на однофазную обмотку только одного сельсина. Однофазная обмотка другого сельсина-приемника используется в качестве

источника напряжения, которым управляется работа исполнительного механизма системы. У сельсина-датчика ротор перемещается при помощи ведущего вала, ротор сельсина-приемника заторможен с помощью соединенного механизма и может быть, повернут лишь со стороны этого механизма.

В схеме существует двукратная трансформация. Первичной обмоткой является статорная однофазная обмотка С-Д. Вторичная обмотка - трехфазная обмотка ротора С-Д. У С-Д, наоборот, питание получает трехфазная обмотка, т.е. она является первичной, однофазная обмотка - вторичной.

С изменением положения ротора С-Д относительно статорной обмотки изменяется напряжение в его фазных обмоток. При этом изменяются пульсирующие магнитные поля вокруг фазных роторных обмоток С-П, что в свою очередь приводит к изменению напряжения в статорной обмотке С-П. Чтобы этого не произошло роторы С-Д и С-П должны занять одинаковое положение по отношению к статорной обмотке.

Если α_g - угол поворота между осями первичной однофазной обмотки и первой фазы вторичной обмотки датчика; α_n - то же для приемника, то для такой схемы имеем при угле рассогласования:

$$\Theta = \alpha_g - \alpha_n = 0 \quad (12.2)$$

Подобный режим работы сельсинов используется в следящих системах, однако при рассогласовании в этих системах происходит перемещение нагрузки под действием исполнительного устройства, а согласованному положению сельсинов должна соответствовать ЭДС $E=0$.

Для получения $E=0$ статорную обмотку С-П смещают на 90° относительно оси статорной обмотки С-Д при согласованном положении роторов. Это положение принимается за исходное.

Усилитель системы реагирует на фазу выходного напряжения, двигатель поворачивает нагрузку таким образом, чтобы уменьшить рассогласование между роторами сельсинов. Точность работы системы при трансформаторном режиме работы сельсинов несколько выше, чем в режиме непосредственной передачи угла (Рисунок 12.6).

На одном валу приводным двигателем 1, который вращает вал генератора, укреплен синхронный генератор 2 системы синхронной связи. Вблизи его - фазовращатель 3, трёхфазная обмотка питается от синхронного генератора. В качестве фазовращателя используются сельсины в трансформаторном режиме.

Отличие в работе сельсинов в следующем: питание их осуществляется трёхфазным переменным током, что позволяет получить вращающееся магнитное поле, амплитуда которого остаётся постоянной. Поле индуктирует в однофазной обмотке ЭДС. Напряжение однофазной обмотки фазовращателя передаётся по линии связи 4, т.к. один из проводов - земля, то линия связи между электростанциями состоит из одного провода.

На второй электростанции - аналогичная система. Индикатор нуля 5 представляет собой ферродинамический логометр. Стрелка индикатора 0 должна находиться на отметке шкалы 0 только в том случае, если фаза, частота и напряжение на обеих рамках индикатора будут иметь одинаковую величину. Равенство напряжений на обмотке индикатора нуля обеспечивается однотипностью синхронных генераторов. Скорость вращения генераторов является регулируемым параметром.

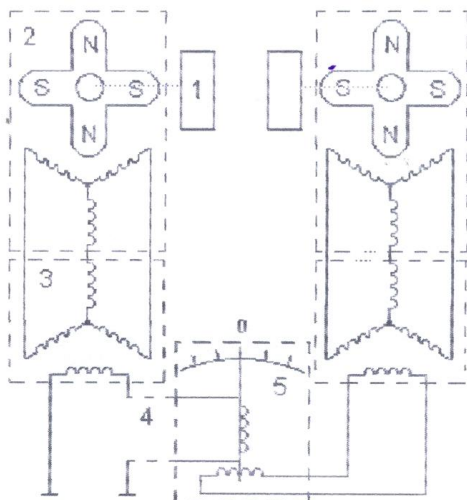


Рисунок 12.6 - Индикаторный режим

Основные недостатки: сложность устройства, отсутствие автоматического поддержания синфазности вращения валов.

Литература

основная

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики. –М.: Высшая школа, 1985 г. –216 с.: ил.
2. Бабилов М.А., Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. –М.: Высшая школа, 1989 г. : ил.

дополнительная

3. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. –М.: Энергоатомиздат, 1986 г. : Ил.
4. Под редакцией Преснухина Л.Н. Микропроцессоры. Кн.1, 2, 3. –М.: Высшая школа, 1986 г., : Ил.
5. Гинзбург С.А., Лехтман И.Я. Основы Автоматики и телемеханики. –М.: Энергия, 1985, 510

5 Контрольные вопросы

- 1) Дистанционные, следящие системы.
- 2) Область применения систем синхронной связи
- 3) Основные величины систем синхронной передачи
- 4) Типы индукционных систем синхронной связи
- 5) Машины самосинхронизирующиеся или сельсины

1. Тема 13: Следящие системы непрерывного действия. Классификация следящих систем. Следящие системы программного управления

2. Цель: Ознакомиться с классификацией следящих систем.

3. Тезисы лекции:

1. Следящие системы непрерывного действия

2. *Примеры составления уравнений следящих систем непрерывного действия*
3. *Следящие системы программного управления*

1 Следящие системы непрерывного действия

В следящих системах управляющее воздействие воспроизводит изменения задающего воздействия, т.е. "следит" за его состоянием.

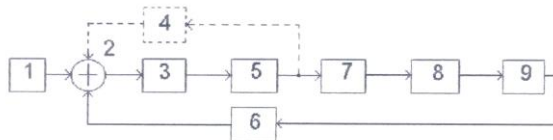


Рисунок 13.1 - Общая структурная схема следящей системы

Функциональные задачи элементов:

- 1 формирователь входного сигнала;
- 2 блок сравнения;
- 3 корректирующее последовательное устройство;
- 4 корректирующее параллельное устройство;
- 5,7 усилители;
- 6 устройство в цепи ОС;
- 8 исполнительное устройство;
- 9 преобразователь.

Следящие системы являются одной из разновидностей САР, поэтому, как и все САР они классифицируются: по назначению; в зависимости от характеристик входного сигнала; по типу применяемых элементов.

Классификация следящих систем:

1) по назначению: следящие электроприводы, системы дистанционного управления, измерительные системы, системы управления мощности, счётно-решающие устройства.

2) по принципу действия используемых элементов: электрогидравлические, электронно-ионные, системы с электромашиными усилителями, с магнитными усилителями, с двухфазными двигателями переменного тока, электропневматические системы.

3) по характеру входного сигнала: системы непрерывного и прерывного действия.

Рассмотрим системы непрерывного действия.

Для данных систем характерна непрерывная связь выхода с входом. Существует множество разновидностей этих систем: системы пропорционального регулирования, изменяющие выходную величину пропорционально ошибке; системы с регулированием, пропорциональным первой и второй производным по ошибке, системы с регулированием, пропорциональным интегралу ошибки; системы с жёсткой ОС по первой и второй производным выходной величины

Основные параметры систем непрерывного действия.

Основной характеристикой следящей системы является точность, с которой приёмный элемент с поступательным движением "следит" за движением задающего элемента.

Точность обработки характеризуется ошибкой δ .

Рассмотрим основные показатели систем непрерывного действия на примере следящего привода:

Статическая ошибка - $\delta_{ст}$ - определяется рассогласованием между входной и выходной величиной при неподвижном состоянии системы. Величина статической ошибки зависит от моментов сил сопротивления движению люфтов.

Динамическая ошибка складывается из:

а) скоростной ошибки $\delta_{ск}$, которая имеет место в установившемся режиме при равномерном сигнале $\Theta_{вх}=\omega t$; $\omega=const$;

б) свободной составляющей ошибки $\delta_{св}$ при равномерном сигнале, начавшемся с момента $t=0$;

в) свободной составляющей ошибки при скачкообразном изменении входного угла на величину $\Theta_{вх1}$ ($\Theta_{вх}=0$; при $t<0$; $\Theta_{вх}=\Theta_{вх1}$ при $t>0$);

г) ошибки при синусоидальной скорости входного сигнала $\Theta_{вх}=A\sin\omega t$.

В реальных системах статическая ошибка увеличивается с ростом статического момента на валу двигателя и уменьшением коэффициента усиления.

Скоростная ошибка возникает в двигателях постоянного и переменного тока. Она увеличивается с возрастанием скорости входного сигнала и уменьшается при увеличении коэффициента усиления системы.

Статическая и скоростная ошибки являются показателями, по которым предварительно выбирают коэффициент усиления и принцип регулирования системы.

Для выбора параметров и схем следящего привода учитываются все динамические показатели, т.е. и свободные составляющие ошибок.

Свободные составляющие ошибок зависят от всех параметров системы - постоянных времени, коэффициент усиления всех звеньев и схем их соединения. Они определяются для замкнутой системы в целом.

При частотном анализе большое значение имеет ошибка при синусоидальном сигнале. Для линейных систем эти ошибки представляют собой также синусоиду, частота которой совпадает с частотой сигнала.

Добротность системы Q.

Под добротностью понимается отношение постоянной скорости сигнала к скоростной ошибке:

$$Q = \frac{\omega}{\delta_{ск}} \quad (1/сек) \quad (13.1)$$

Скоростная ошибка мало отличается от общей ошибки установившегося режима.

Добротность Q - приблизительно равна коэффициенту усиления K. Чем меньше должна быть погрешность, тем больше Q. Увеличение добротности может вызвать потерю устойчивости.

Для создания современных автоматических и вычислительных устройств необходимы точные системы передачи угла, имеющие ошибку не более ± 1 при повороте входной оси на угол до 360° .

Для обеспечения большей точности в синхронно следящих системах используются синусно-косинусные поворотные трансформаторы в качестве датчика и приёмника, они являются точными преобразователями угла поворота в напряжение.

Важным условием точности является маломоментность датчика, т.е. датчик не должен создавать момент, противодействующий перемещению или вращению чувствительных элементов автоматических устройств.

2 Примеры составления уравнений следящих систем непрерывного действия

В следящих системах управление исполнительным устройством осуществляется непрерывно по закону, который задаётся входным устройством.

Измерительный элемент состоит из задающего Д и приёмного П потенциометров , которые по напряжению включены встречно.

При перемещении движка задающего потенциометра от его нулевого положения на угол $\Theta_{вх}$ на выходе измерительного элемента появится напряжение, пропорциональное разности между входным и выходным углами или ошибке δ .

$$\delta = \Theta_{вх} - \Theta_{вых} \quad (13.2)$$

Следящий привод с пропорциональным регулированием представлен на рисунке 13.2.

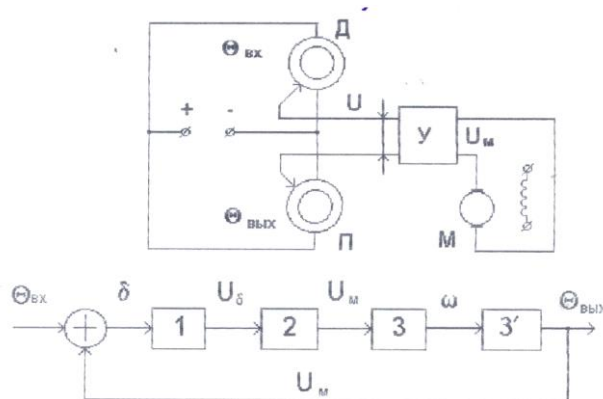


Рисунок 13.2 - Следящий привод с пропорциональным регулированием

1 формирователь сигнала ошибки; 2 усилитель; 3 электродвигатель; 3' потенциометр отработки (измерительный элемент).

При рассогласованном положении движков потенциометров ($\Theta_{вх} \neq \Theta$) на усилитель поступает напряжение, пропорциональное ошибке:

$$U_{\delta} = K_1 \delta \quad (13.3)$$

где K_1 - коэффициент пропорциональности.

Уравнение движения для двигателя:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} = J \frac{d^2 \Theta_{вых}}{dt^2} \quad (13.4)$$

где M - момент электродвигателя; M_c - момент сопротивления; J - момент инерции.

Если в качестве исполнительного электродвигателя следящего привода применим двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением, тогда

$$M = M_k - \beta \omega = C_M I_k = \frac{C_m U_m}{r_{я}} - \beta \frac{d\Theta_{вых}}{dt} \quad (13.5)$$

где $\beta = \Delta M / \Delta \omega$ - коэффициент жёсткости механической характеристики двигателя; M_k и I_k - момент и ток короткого замыкания двигателя; $r_{я}$ - сопротивление якорной цепи; C_m - коэффициент пропорциональности.

Подставим в уравнение двигателя

$$M = J \frac{d^2 \Theta_{вых}}{dt^2} + M_c \quad (13.6)$$

$$M = \frac{U_m C_m}{r_J} - \beta \frac{d\Theta_{\text{вх}}}{dt} \quad (13.7)$$

$$J \frac{d^2 \Theta_{\text{вх}}}{dt^2} + \beta \frac{d\Theta_{\text{вх}}}{dt} + M_c = \frac{U_m C_m}{r_J} = \frac{C_M K_1 K_2}{r_J} \delta \quad (13.8)$$

т.к $\delta = \Theta_{\text{вх}}$ $\Theta_{\text{вх}}$, можно записать:

$$J \frac{d^2 \Theta_{\text{вх}}}{dt^2} - J \frac{d^2 \delta}{dt^2} + \beta \frac{d\Theta_{\text{вх}}}{dt} - \beta \frac{d\delta}{dt} + M_c = \frac{C_M K_1 K_2}{r_J} \delta \quad (13.9)$$

обозначим

$$\frac{C_M K_1 K_2}{r_J} \delta = K \quad (13.10)$$

Пренебрежём величиной статического момента и предположим, что имеет место решение постоянной скорости входного сигнала при $t < 0$ $\Theta_{\text{вх}} = 0$; при $t > 0$ $\Theta_{\text{вх}} = \omega t$, где $\omega = \text{const}$ уравнение будет иметь вид:

$$J \frac{d^2 \delta}{dt^2} + \beta \frac{d\delta}{dt} + K\delta = \omega\beta \quad (13.11)$$

Ошибку в системе можно рассматривать как сумму скоростной и свободной составляющих

$$\delta = \delta_{\text{ск}} + \delta_{\text{св}} \quad (13.12)$$

Скоростная ошибка получается из уравнения при производных равных 0

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = 0 \quad (13.13)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = 0 \quad (13.14)$$

$$\delta_{\text{ск}} = \frac{\beta\omega}{K} \quad (13.15)$$

Свободная ошибка может быть найдена при решении уравнения с правой части, равной 0.

$$J \frac{d^2 \delta_{\text{св}}}{dt^2} + \beta \frac{d\delta_{\text{св}}}{dt} + K\delta_{\text{св}} = 0 \quad (13.16)$$

Для нахождения максимальной статической ошибки в неподвижном состоянии системы воспользуемся уравнением:

$$\delta_{ст} = \frac{M_c}{K} \quad (13.17)$$

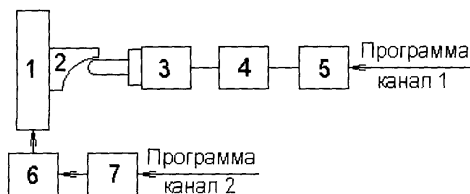
т.е. статическая ошибка прямо пропорциональна моменту статического сопротивления и обратно пропорциональна коэффициенту усиления.

Найдём ошибку установившегося движения при $M_c \neq 0$ и скорости движения - ω .

$$\delta_y = \frac{M_c + \beta\omega}{K} = \frac{M_c}{K} + \frac{\beta\omega}{K} = \delta_{ст} + \delta_{ск} \quad (13.18)$$

а) 3 Следящие системы программного управления

Следящие системы программного управления делятся на замкнутые и разомкнутые: 1) в разомкнутых системах с цифровым программным управлением (Рисунок 13.3) в качестве исполнительного органа используются специальные шаговые двигатели, выходной вал которых поворачивается на строго определённый угол при подаче на управляющую обмотку двигателя одного импульса. Управление рабочими органами осуществляется двумя программами по двум каналам независимо по каждой координате.



1 задающая подача; 2 заготовка; 3 рабочий орган; 4,6 исполнительные устройства; 5,7 считывающие устройства.

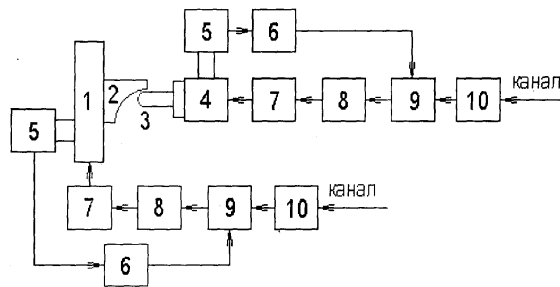
Рисунок 13.3 - Разомкнутая система с цифровым программным управлением

Требуемая траектория перемещения фрезы относительно изделия записывается на программе-носителе в виде последовательностей импульсов для каждого исполнительного устройства. В качестве программы-носителя используются перфокарты и перфоленты, служащие для ввода исходной информации в ЭВМ, а также киноленты, магнитные ленты и барабаны.

Достоинство разомкнутых следящих систем с цифровым управлением - относительная простота.

Недостатки - отсутствует устройство ОС по перемещению, осуществляющее контроль за реализацией программы, это не позволяет обеспечить воспроизведение программы с высокой точностью.

2) в замкнутых следящих системах с цифровым программным управлением (Рисунок 13.4) контроль реализации программы осуществляется при помощи ОС по перемещению рабочих органов.



1 задающая подача; 2 заготовка; 3 фреза; 4 рабочий орган; 5 датчик ОС; 6 усилитель; 7 исполнительное устройство; 8 дешифраторы; 9 устройство сравнения; 10 устройство считывания программы.

Рисунок 13.4 - Замкнутая следящая система с цифровым программным управлением

Сравнение входной информации и информации, полученной от датчиков ОС, происходит в специальном устройстве (элементе сравнения, входящем в дешифратор), роль этого устройства может выполнять реверсивный счётчик, определяющий разность между числом импульсов, поступающих с программы и с датчика ОС. Эта разность преобразуется дешифратором в пропорциональное ей напряжение, управляющее двигателем подачи.

По структуре замкнутые следящие системы фрезерных станков с цифровым программным управлением аналогичны следящим системам копировально-фрезерных станков. Элемент сравнения следящих систем цифрового программного управления соответствует индуктивному датчику следящих систем копировально-фрезерных станков.

Различие систем в том, что следящие системы копировально-фрезерных станков представляют собой взаимосвязанные каналы, управление же каждым каналом фрезерных станков с цифровым программным управлением происходит независимо друг от друга.

В качестве исполнительных устройств в системах программного управления используются шаговые двигатели (Рисунок 13.5). Для управления шаговыми двигателями применяются специальные схемы "ключевого управления".

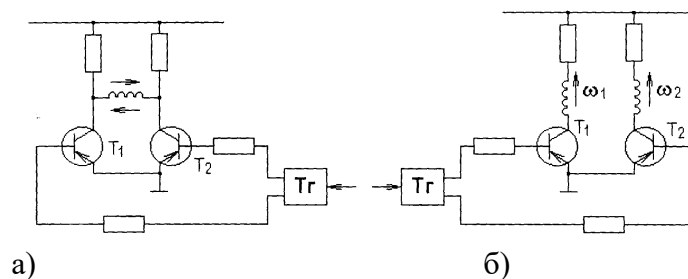


Рисунок 13.5 - Транзисторные схемы управления шаговыми двигателями

Управляющие импульсы, поступающие на вход триггера T_r , вызывают поочередное открывание и накрывание транзисторов T_1 и T_2 усилителя. Вторая схема применяется, если подключение двигателя осуществляется контактами поляризованного реле.

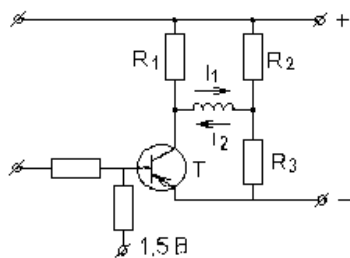


Рисунок 13.6 - Потенциальная импульсная схема на постоянном токе

Обмотка шагового двигателя включена в диагональ мостовой схемы. Когда Т - открыт течёт ток I_1 , закрыт - I_2 . Сопротивления подбирают такими, чтобы $I_1 = I_2$. КПД - мал, т.к. большие потери в постоянном сопротивлении. Для увеличения КПД последовательно с обмоткой включают конденсатор. Подбирая величину ёмкости конденсатора можно изменять длительность импульса тока.

Литература

основная

1. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики. –М.: Высшая школа, 1985 г. –216 с.: ил.
2. Бабииков М.А., Косинский А.В. Элементы и устройства автоматики. –М.: Высшая школа, 1989 г. : ил.

дополнительная

3. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. –М.: Энергоатомиз дат, 1986 г. : Ил.
4. Под редакцией Преснухина Л.Н. Микропроцессоры. Кн.1, 2, 3. –М.: Высшая школа, 1986 г., : Ил.
5. Гинзбург С.А., Лехтман И.Я. Основы Автоматики и телемеханики. –М.: Энергия, 1985, 510

5 Контрольные вопросы

- 1) Классификация следящих систем.
- 2) Основные параметры систем непрерывного действия
- 3) Разомкнутые системы с цифровым программным управлением
- 4) Замкнутые следящие системы с цифровым программным управлением

1. Тема 14: Современное программное обеспечение АСУ ТП

2. **Цель:** Освоение современное программное обеспечение АСУ ТП.

3. Тезисы лекции:

1. Прикладное ПО. Классификация
2. Системы обработки данных и супервизорного контроля и управления
3. Средства сетевой поддержки

1 Прикладное ПО. Классификация.

Всевозможные программные средства, которых, видимо, насчитывается уже сотни тысяч для компьютеров различных типов, можно разделить на несколько классов в зависимости от назначения:

- операционные системы;
- системы программирования;
- инструментальные программные средства, интегрированные пакеты;

- прикладные программы.

Прикладные программы предназначены для того, чтобы обеспечить применение вычислительной техники в различных сферах деятельности человека.

Один из возможных вариантов классификации программных средств (ПС), составляющих прикладное программное обеспечение (ППО), отражен на рис.15.1.



Программные средства профессионального уровня

Каждая прикладная программа этой группы ориентируется на достаточно узкую предметную область, но проникает в нее максимально глубоко. Так функционируют **АСНИ** - автоматизированные системы научных исследований, каждая из которых «привязана» к определенной области науки, **САПР** - системы автоматизированного проектирования, каждая из которых также работает в узкой области, **АСУ** - автоматизированные системы управления .

Нужно отметить не только условность предложенной выше классификации, но и наличие пересечений. Так, каждую конкретную экспертную систему вполне можно отнести к ППО профессионального уровня; принцип гипертекста реализован в ряде авторских систем и т.д.

2 Системы обработки данных и супервизорного контроля и управления

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) – на сегодня основной метод автоматизированных систем управления в таких областях, как промышленность, энергетика, различные государственные структуры. SCADA-системы состоят из трех основных компонентов: удаленный терминал (где в режиме реального времени обрабатываются задачи), главный терминал (диспетчерский пульт управления), каналы связи.

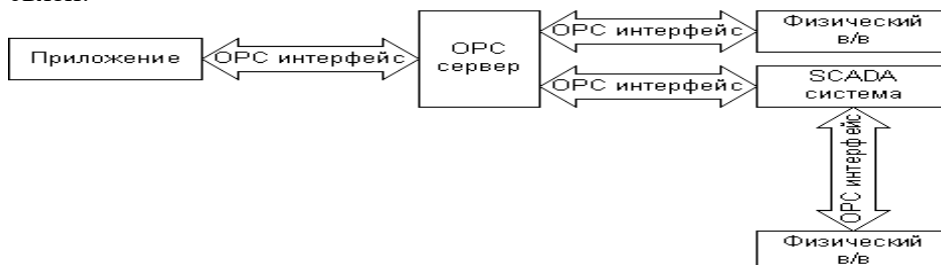


Рисунок 2 - Варианты обмена SCADA-систем с приложениями и физическими устройствами через OPC-интерфейс

SCADA– это технология, позволяющая собирать информацию с удаленных объектов, обрабатывать ее в соответствии с введенной программой и передавать им по кабелю или через радиосвязь управляющие или ограничивающие команды. В настоящее время SCADA с точки зрения безопасности и надежности является основным и самым

перспективным методом автоматизированного управления сложных динамических систем в важных и опасных для жизни областях деятельности.

SCADA- жүйелерін ендірудің мақсаты өндірісті автоматтандыру жүйелерін бағдарламалық қамтамасыз етілуін жетілдіруге жұмсалатын уақыт және тікелей қаржылық шығындарды қысқарту болып табылады.

SCADA-жүйелерінің басты мәселесі – технологиялық процесс операторының интерфейсін қамтамасыз ету.

Ниже перечислены только некоторые из популярных рынках СНГ SCADA-систем:

	SCADA-система	Фирма-изготовитель	Сирана
1	Factory-Link	United States Data Co	США
2	In Touch	Wonderware	США
3	Genesis	Iconics	США
4	WinCC	Siemens	Германия
5	RealFlex	BJ.Software.Systems	США
6	Sitex	Jade. Software	Англия
7	FIX	Intellution	США
8	Trace Mode	AdAstra	Россия
9	Simplicity	GE Fanuc Automation	Россия
10	IGSS	Seven Technologies	Дания
11	Image	Технолинк	Россия
12	RSView	Rockwell Software.Inc	США

Перечислим основные возможности и средства, присущие всем системам и различающиеся только техническими особенностями реализации:

- 1) автоматизированная разработка, дающая возможность создания ПО системы автоматизации без реального программирования;
- 2) средства сбора первичной информации от устройств нижнего уровня;
- 3) средства управления и регистрации сигналов об аварийных ситуациях;
- 4) средства хранения информации с возможностью ее постобработки (как правило, реализуется через интерфейсы к наиболее популярным базам данных);
- 5) средства обработки первичной информации;
- 6) средства визуализации информации в виде графиков, гистограмм и т.п.;
- 7) возможность работы прикладной системы с наборами параметров, рассматриваемых как "единое целое" ("recipe" или "установки").

Функциональные возможности

Основу большинства SCADA-пакетов составляют несколько программных компонентов (база данных реального времени, ввода-вывода, предыстории, аварийных ситуаций) и администраторов (доступа, управления, сообщений).

Технические характеристики

Ниже перечисляются характеристики, важные для оценки функциональности SCADA-систем, и приводится краткий анализ каждой характеристики.

Программно-аппаратные платформы, на которых реализована SCADA-система. Анализ перечня таких платформ необходим, поскольку от него зависит ответ на вопросы распространения SCADA-системы на имеющиеся вычислительные средства, а также оценка стоимости эксплуатации системы (будучи разработанной в одной операционной среде, прикладная программа может быть выполнена в любой другой, которую поддерживает выбранный SCADA-пакет). В различных SCADA-системах этот вопрос решен по разному. Так, FactoryLink имеет весьма широкий список поддерживаемых

программно-аппаратных платформ:

Операционная система	Компьютерная платформа
DOS/MS Windows	IBM PC
OS/2	IBM PC
SCO UNIX	IBM PC
VMS	VAX
AIX	RS6000
HP-UX	HP 9000
MS Windows/NT	Системы с реализованным Windows/NT, в основном на PC-платформе

В то же время в таких SCADA-системах, как RealFlex и Sitex основу программной платформы принципиально составляет единственная операционная система реального времени QNX.

Подавляющее большинство SCADA-систем реализовано на MS Windows платформах. Имен-но такие системы предлагают наиболее полные и легко наращиваемые MMI (Man Machine Interface) средства.

Быстрое развитие OPC-технологий, низкие цены аппаратного обеспечения, распространённость Windows NT на офисных рынках вкупе с её солидными техническими характеристиками - главные причины того, что абсолютное большинство производителей SCADA-пакетов мигрировали в сторону этой операционной системы.

3 Средства сетевой поддержки.

Одной из основных черт современного мира систем автоматизации является их высокая степень интеграции. В любой из них могут быть задействованы объекты управления, исполнительные механизмы, аппаратура, регистрирующая и обрабатывающая информацию, рабочие места операторов, серверы баз данных и т.д. Очевидно, что для эффективного функционирования в этой разнородной среде SCADA-система должна обеспечивать высокий уровень сетевого сервиса. Желательно, чтобы она поддерживала работу в стандартных сетевых средах (ARCNET, ETHERNET и т.д.) с использованием стандартных протоколов (NETBIOS, TCP/IP и др.), а также обеспечивала поддержку наиболее популярных сетевых стандартов из класса промышленных интерфейсов (PROFIBUS, CANBUS, LON, MODBUS и т.д.). Этим требованиям в той или иной степени удовлетворяют практически все рассматриваемые SCADA-системы, с тем только различием, что набор поддерживаемых сетевых интерфейсов, конечно же, разный.

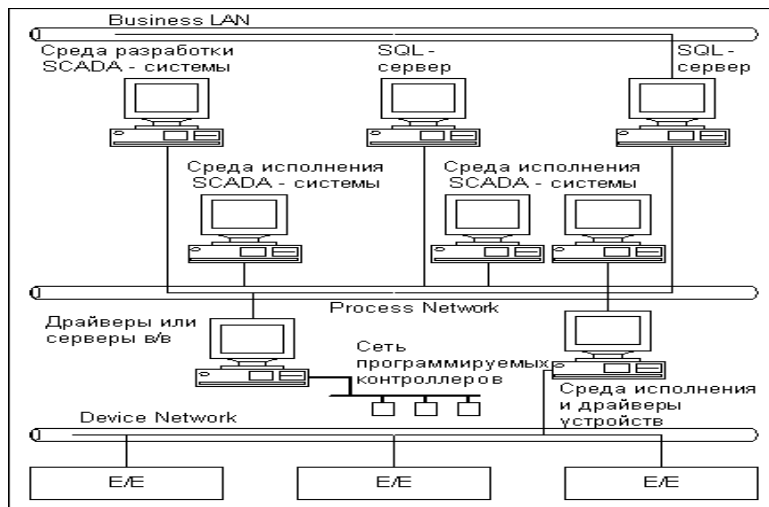


Рисунок 15.3 Схема интеграции

SCADA-приложений в комплексные системы управления

Встроенные командные языки

Большинство SCADA-систем имеют встроенные языки высокого уровня, VBasic-подобные языки, позволяющие сгенерировать адекватную реакцию на события, связанные с изменением значения переменной, с выполнением некоторого логического условия, с нажатием комбинации клавиш, а также с выполнением некоторого фрагмента с заданной частотой относительно всего приложения или отдельного окна. **Поддерживаемые базы данных**

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

Для специалиста-разработчика системы автоматизации, также как и для специалиста-"технолога", чье рабочее место создается, очень важен графический пользовательский интерфейс. Функционально графические интерфейсы SCADA-систем весьма похожи. В каждой из них существует графический объектно-ориентированный редактор с определенным набором анимационных функций. Используемая векторная графика дает возможность осуществлять широкий набор операций над выбранным объектом, а также быстро обновлять изображение на экране, используя средства анимации. **Драйверы ввода-вывода**

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

Для подсоединения драйверов ввода-вывода к SCADA используются два механизма - стандартный DDE (Dynamic Data Exchange) и обмен по внутреннему (известному только фирме разработчику) протоколу. До сих пор DDE остается основным механизмом, используемым для связи с внешним миром в SCADA-системах. Но он является не совсем

пригодным для обмена информацией в реальном масштабе времени из-за своих ограничений по производительности и надежности. Взамен DDE компания Microsoft предложила более эффективное и надежное средство передачи данных между процессами - OLE (Object Linking and Embedding - включение и встраивание объектов). Механизм OLE поддерживается в RSView, Fix, InTouch, Factory Link и др. На базе OLE появляется новый стандарт OPC (OLE for Process Control), ориентированный на рынок промышленной автоматизации.

Встраиваемые ActiveX объекты

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

5 Контрольные вопросы

- 1) Классификация прикладного ПО.
- 2) Программные средства профессионального уровня
- 3) Системы обработки данных и супервизорного контроля и управления
- 4) Функциональные возможности SCADA-систем
- 5) Средства сетевой поддержки

1. Тема 15: Программирование промышленных контроллеров

2. Цель: Определение программируемого логического контроллера (ПЛК).

3. Тезисы лекции:

1 Устройство ПЛК

2 Входы-выходы ПЛК

1 Устройство ПЛК

Технически контроллеры реализуются по-разному. Это может быть механическое устройство, пневматический или гидравлический автомат, релейная или электронная схема или даже компьютерная программа.

При создании машин, занятых в сфере промышленного производства, как правило, приходится иметь дело не более чем с единицами однотипных устройств. Кроме того, очень существенной здесь является возможность быстрой перенастройки оборудования на выпуск другой продукции.

Контроллеры, выполненные на основе реле или микросхем с «жесткой» логикой, невозможно научить делать другую работу без существенной переделки. Очевидно, что такой возможностью обладают только *программируемые логические контроллеры* (ПЛК). Идея создания ПЛК родилась практически сразу с появлением микропроцессора, т. е. 30 лет назад.

Физически, типичный ПЛК представляет собой блок, имеющий определенный набор выходов и входов, для подключения датчиков и исполнительных механизмов (рис.15.1). Логика управления описывается программно на основе микрокомпьютерного ядра. Абсолютно одинаковые ПЛК могут выполнять совершенно разные функции. Причем для изменения алгоритма работы не требуется каких-либо переделок аппаратной части. Аппаратная реализация входов и выходов ПЛК ориентирована на сопряжение с унифицированными приборами и мало подвержена изменениям.



Рисунок 15.1 Принцип работы ПЛК

Задачей прикладного программирования ПЛК является только реализация алгоритма управления конкретной машиной. Оперс входов и выходов контроллер осуществляет автоматически, вне зависимости от способа физического соединения. Эту работу выполняет системное программное обеспечение. В идеальном случае прикладной программист совершенно не интересуется, как

подсоединены и где расположены датчики и исполнительные механизмы. Мало того, его работа не зависит от того, с каким контроллером и какой фирмы он работает. Благодаря стандартизации языков программирования прикладная программа оказывается *переносимой*. Это означает, что ее можно использовать в любом ПЛК, поддерживающем данный стандарт.

Программируемый контроллер - это программно управляемый *дискретный автомат*, имеющий некоторое множество входов, подключенных посредством датчиков к объекту управления, и множество выходов, подключенных к исполнительным устройствам. ПЛК контролирует состояния входов и вырабатывает определенные последовательности программно заданных действий, отражающихся в изменении выходов.

ПЛК предназначен для работы в режиме реального времени в условиях промышленной среды и должен быть доступен для программирования неспециалистом в области информатики.

Изначально ПЛК предназначались для управления последовательными логическими процессами, что и обусловило слово «логический» в названии ПЛК. Современные ПЛК помимо простых логических операций способны выполнять цифровую обработку сигналов, управление приводами, регулирование, функции операторского управления и т.д. В стандарте МЭК и очень часто в литературе для обозначения контроллеров применяется сокращение ПК (программируемый контроллер). Поскольку обозначение ПК устойчиво связано с персональными компьютерами, будем использовать сокращение ПЛК.

Конструкция ПЛК может быть самой разнообразной - от стойки, заполненной аппаратурой, до миниатюрных ПЛК, подобных показанному на рис. 15.2.

Первые ПЛК были применены в США для автоматизации конвейерного сборочного производства в автомобильной промышленности (фирма Модикон, 1969 г.). Сегодня ПЛК работают в энергетике, в области связи, в химической промышленности, в сфере добычи, транспортировки нефти и газа, в системах обеспечения безопасности, в коммунальном хозяйстве, используются в автоматизации складов, в производстве продуктов питания и напитков, на транспорте, в строительстве и т.д. Реально сфера применения ПЛК даже шире сферы применения персональных компьютеров. Хотя слава ПЛК значительно меньше. Их работа происходит как бы «за сценой» и незаметна для большинства людей.



Рисунок 15.2 Миниатюрный ПЛК фирмы SIEMENS, Германия

2 Входы-выходы ПЛК

На заре своего появления ПЛК имели только *бинарные входы*, т. е. входы, значения сигналов на которых способны принимать только два состояния - логического нуля и логической единицы. Так, наличие тока (или напряжения) в цепи входа считается обычно логической единицей. Отсутствие тока (напряжения) означает логический 0. Датчиками, формирующими такой сигнал, являются кнопки ручного управления, концевые датчики, датчики движения, контактные термометры и многие другие.

Бинарный выход также имеет два состояния - включен и выключен. Сфера применения бинарных выходов очевидна: электромагнитные реле, силовые пускатели, электромагнитные клапаны, световые сигнализаторы и т. д.

В современных ПЛК широко используются *аналоговые входы* и выходы. Аналоговый или *непрерывный* сигнал отражает уровень напряжения или тока, соответствующий некоторой физической величине в каждый момент времени. Этот уровень может относиться к температуре, давлению, весу, положению, скорости, частоте и т. д. Словом, к любой физической величине.

Аналоговые входы контроллеров могут иметь различные параметры и возможности. Так, к их параметрам относятся: разрядность АЦП, диапазон входного сигнала, время и метод преобразования, несимметричный или дифференциальный вход, уровень шума и нелинейность, возможность автоматической калибровки, программная или аппаратная регулировка коэффициента усиления, фильтрация. Особые классы аналоговых входов представляют входы, предназначенные для подключения термометров сопротивления и термопар. Здесь требуется применение специальной аппаратной поддержки (трехточечное включение, источники образцового тока, схемы компенсации холодного спая, схемы линеаризации и т. д.).

В сфере применения ПЛК бинарные входы и выходы называют обычно *дискретными*. Хотя, конечно, это не точно. Аналоговые сигналы в ПЛК обязательно преобразуются в цифровую, т. е. заведомо дискретную форму представления. Но в технических документах ПЛК любой фирмы вы встретите именно указание количества дискретных и аналоговых входов.

Режим реального времени и ограничения на применение ПЛК

Для математических систем характеристикой качества работы является правильность найденного решения. В системах реального времени помимо правильности решения определяющую роль играет *время реакции*. Логически верное решение, полученное с задержкой более допустимой, не является приемлемым.

Принято различать системы жесткого и мягкого реального времени. В системах *жесткого реального времени* существует выраженный временной порог. При его превышении наступают необратимые катастрофические последствия. В системах *мягкого реального времени* характеристики системы ухудшаются с увеличением времени управляющей реакции. Система может работать плохо или еще хуже, но ничего катастрофического при этом не происходит.

Классический подход для задач жесткого реального времени требует построения *событийно управляемой системы*. Для каждого события в системе устанавливается четко определенное время реакции и определенный приоритет. Практическая реализация таких систем сложна и всегда требует тщательной проработки и моделирования.

Для ПЛК существенное значение имеет не только быстрдействие самой системы, но и время проектирования, внедрения и возможной оперативной переналадки.

Интеграция ПЛК в систему управления предприятием

Контроллеры традиционно работают в нижнем звене *автоматизированных систем управления предприятием* (АСУ) - систем, непосредственно связанных с технологией производства (ТП).

Появился целый класс программного обеспечения реализующего интерфейс человек—машина (ММИ). Это так называемые системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления (Supervisory Control And Data Acquisition System - SCADA). Современные SCADA-системы выполняются с обязательным применением средств мультимедиа.

Создание систем диспетчерского управления является отдельным видом бизнеса. Разделение производства ПЛК, средств программирования и диспетчерских систем привело к появлению *стандартных протоколов обмена данными*. Наибольшую известность получила технология OPC (OLE for Process Control), базирующаяся на механизме DCOM Microsoft Windows. Механизм динамического обмена данными (DDE) применяется пока еще достаточно широко, несмотря на то что требованиям систем реального времени не удовлетворяет (рис. 15.4)

В комплекс программирования ПЛК входит OPC-сервер. Он умеет получать доступ к данным ПЛК также прозрачно, как и отладчик. Достаточно обеспечить канал передачи данных ПЛК - OPC-сервер.

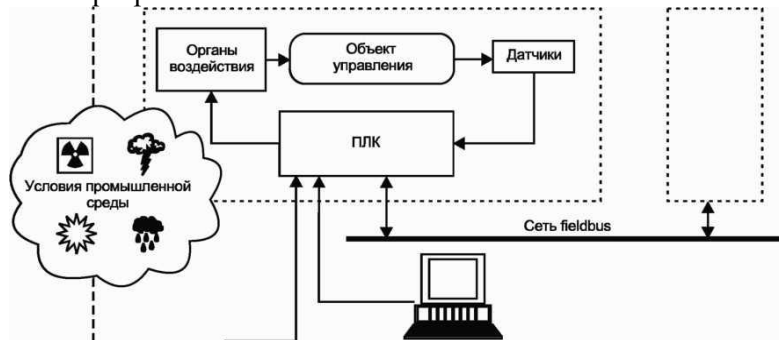


Рисунок 15.4

Доступность программирования

Главным требованием к ПЛК всегда была и остается возможность его эксплуатации существующим техническим персоналом и возможность быстрой замены старого оборудования. Поэтому языки программирования компьютеров и встраиваемых микропроцессорных систем управления для ПЛК плохо подходят для программирования ПЛК. Здесь нужны более простые и наглядные языки, позволяющие излагать задачу в близких к применяемым технологиям категориях.

Рабочий цикл

Задачи управления требуют непрерывного циклического контроля. В любых цифровых устройствах непрерывность достигается за счет применения дискретных алгоритмов, повторяющихся через достаточно малые промежутки времени. Таким образом, вычисления в ПЛК всегда повторяются циклически. Одна итерация, включающая замер, обсчет и выработку воздействия, называется *рабочим циклом* ПЛК. Выполняемые действия зависят от значения входов контроллера, предыдущего состояния и определяются пользовательской программой.

По включению питания ПЛК выполняет самотестирование и настройку аппаратных ресурсов, очистку оперативной памяти данных (ОЗУ), контроль целостности прикладной программы пользователя. Если прикладная программа сохранена в памяти, ПЛК переходит к основной работе, которая состоит из постоянного повторения последовательности действий, входящих в *рабочий цикл*.

Рабочий цикл ПЛК состоит из нескольких фаз.

1. Начало цикла.
2. Чтение состояния входов.
3. Выполнение кода программы пользователя.
4. Запись состояния выходов.
5. Обслуживание аппаратных ресурсов ПЛК.
6. Монитор системы исполнения.
7. Контроль времени цикла.
8. Переход на начало цикла.

В самом начале цикла ПЛК производит физическое чтение входов. Считанные значения размещаются в области памяти входов. Таким образом, создается полная одномоментная зеркальная копия значений входов.

Далее выполняется код *пользовательской программы*. Пользовательская программа работает с копией значений входов и выходов, размещенной в оперативной памяти.

После выполнения пользовательского кода физические выходы ПЛК приводятся в соответствие с расчетными значениями (фаза 4).

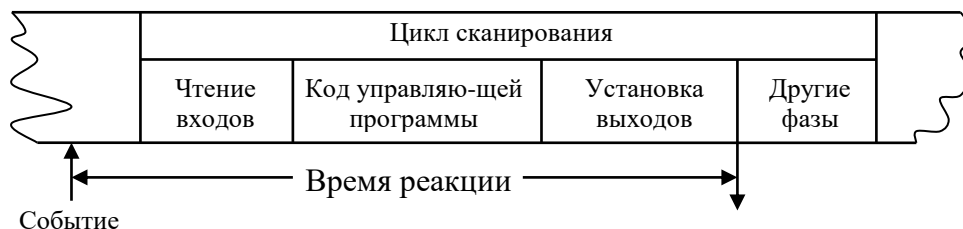
Обслуживание аппаратных ресурсов подразумевает обеспечение работы системных таймеров, часов реального времени, оперативное самотестирование, индикацию состояния и другие аппаратно-зависимые задачи.

Если заглянуть глубже, то нужно отметить, что не всегда работа по чтению входов полностью локализована в фазе чтения входов. Например, АЦП обычно требуют определенного времени с момента запуска до считывания измеренного значения. Часть работы системное программное обеспечение контроллера выполняет по прерываниям. Грамотно реализованная система исполнения нигде и никогда не использует пустые циклы ожидания готовности аппаратуры. Для прикладного программиста все эти детали не важны. Существенно только то, что значения входов обновляются автоматически исключительно в начале каждого рабочего цикла.

Общая продолжительность рабочего цикла ПЛК называется *временем сканирования*. Время сканирования в значительной степени определяется длительностью фазы кода пользовательской программы. Время, занимаемое прочими фазами рабочего цикла, практически является величиной постоянной. Для задачи среднего объема в ПЛК с системой исполнения CoDeSys время распределится примерно так: 98% - пользовательская программа, 2% - все остальное.

Существуют задачи, в которых плавающее время цикла существенно влияет на результат, например это автоматическое регулирование. Для устранения этой проблемы в развитых ПЛК предусмотрен контроль времени цикла. Если отдельные ветви кода управляющей программы выполняются слишком быстро, в рабочий цикл добавляется искусственная задержка. Если контроль времени цикла не предусмотрен, подобные задачи приходится решать исключительно по таймерам.

Время реакции - это время с момента изменения состояния системы до момента выработки соответствующей реакции.



Сурет 15.5 Время реакции ПЛК

Помимо времени реакции ПЛК, существенное значение имеет время реакции датчиков и исполнительных механизмов, которое также необходимо учитывать при оценке общего времени реакции системы.

Время цикла сканирования является базовым показателем быстродействия ПЛК.

Устройство ПЛК

Аппаратно ПЛК является вычислительной машиной. Поэтому архитектура его процессорного ядра практически не отличается от архитектуры компьютера. Отличия заключены в составе периферийного оборудования, отсутствуют видеоплата, средства ручного ввода и дисковая подсистема. Вместо них ПЛК имеет блоки входов и выходов.

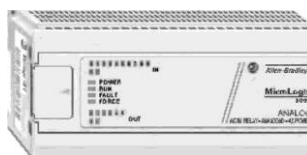


Рисунок 15.6 ПЛК MicroLogix 1000 производства Allen-Bradley (Rockwell Automation), США



5 Контрольные вопросы

- 1) Виды программируемых логических контроллеров.
- 2) *Устройство ПЛК*
- 3) *специализированные входы-выходы*
- 4) Интеграция ПЛК в систему управления предприятием
- 5) Рабочий цикл ПЛК