

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ АВТОМАТИКА ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ»

Протокол № _____ от _____ 201 ____ г.

Автор: _____

**ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Микропроцессорные информационно-управляющие системы

Уровень ВО: *Специалитет*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *4*

Специальность/Направление: *23.05.05 Системы обеспечения движения поездов (СДс)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *(СЭ)
Электроснабжение железных дорог*

Москва

Лабораторные работы выполняются под руководством преподавателя. Студенты разбиваются на подгруппы, выполняя индивидуальные задания, согласно методическим указаниям. Полученные результаты обсуждаются студентами и оцениваются преподавателем. Результаты выполненных лабораторных работ оформляются в виде отчета и проходят процедуру их защиты.

Лабораторная работа №1

Название: «Синтез и исследование системы автоматического регулирования с типовым регулятором»

Цель работы: получение навыков формализации объекта регулирования и экспериментальной оценки его параметров, обучение инженерным методам настройки типовых регуляторов для обеспечения заданных показателей качества регулирования и методам оценки достигнутых показателей качества работы системы автоматического регулирования с типовым регулятором.

1. Задание

Разработать систему автоматического регулирования с заданным типовым регулятором для объекта регулирования, функционирование которого описывается разгонной характеристикой.

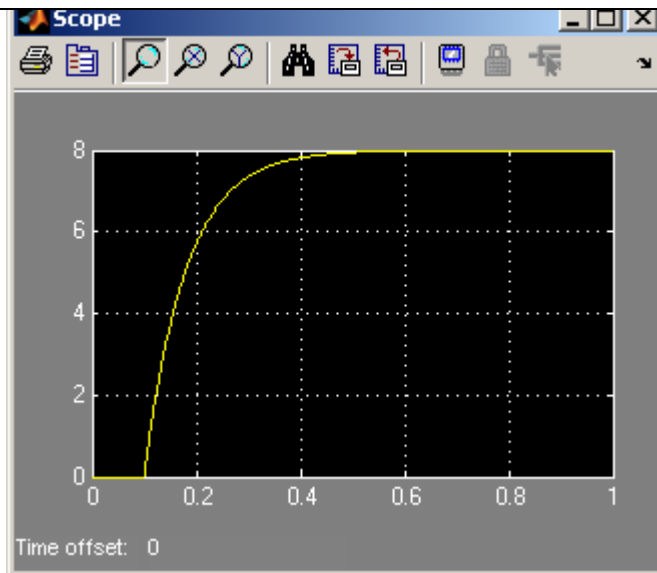
Исходные данные:

а) Разгонная характеристика объекта регулирования для различных вариантов задания приведена в таблице 1. При выполнении задания считать ступенчатое воздействие единичным.

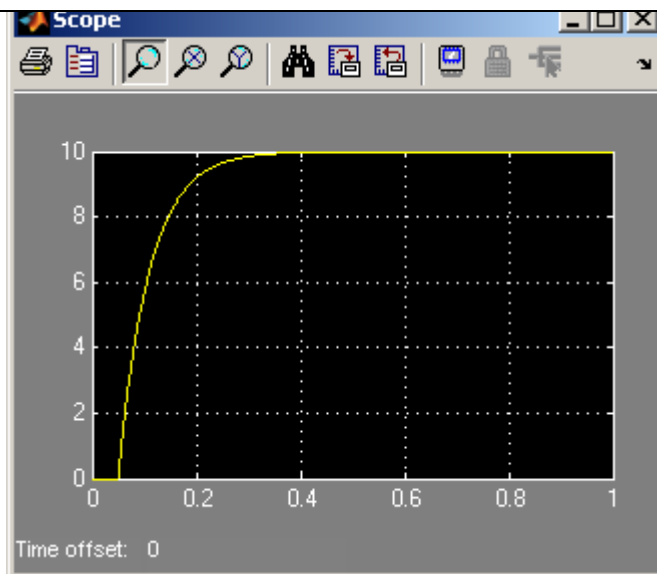
Таблица 1

Младший символ даты рождения (числа в месяце)	Кривая разгона
---	----------------

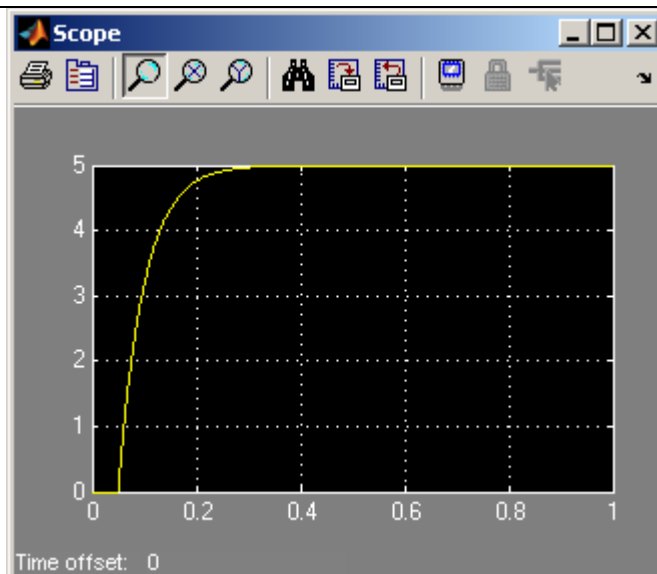
0



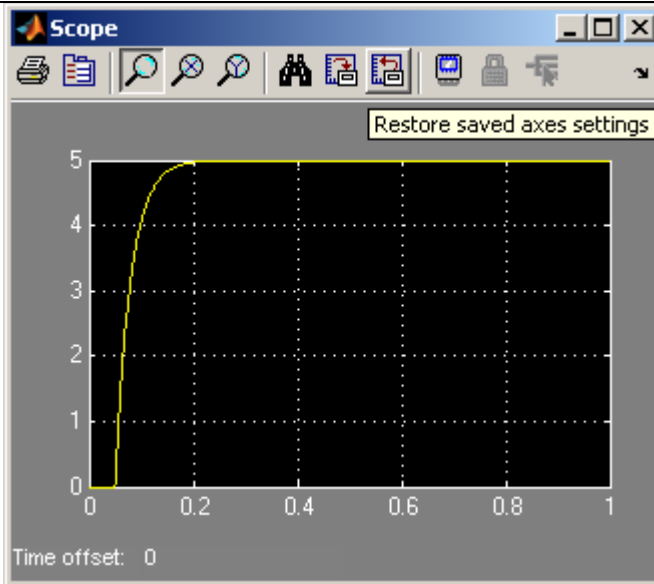
1



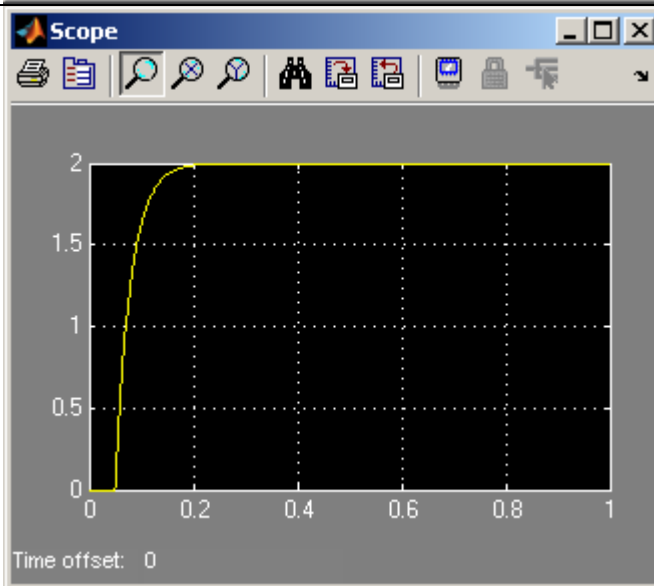
2



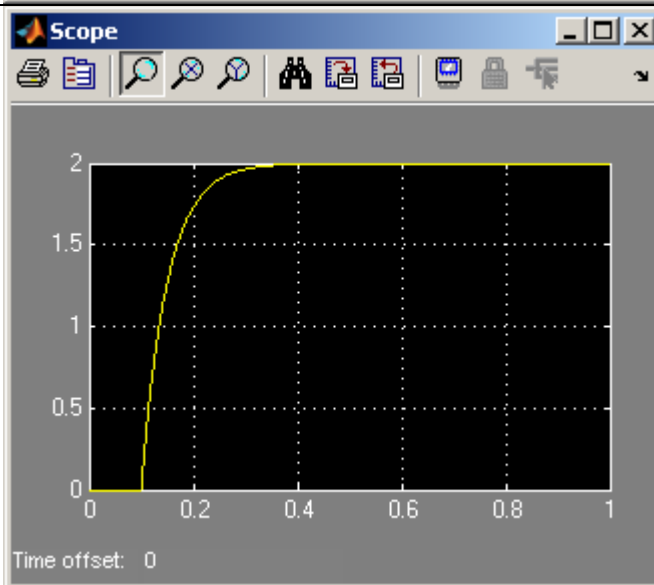
3



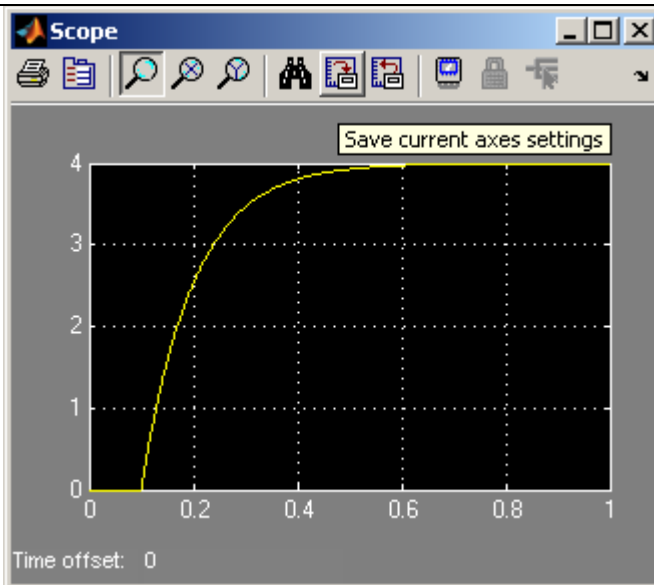
4



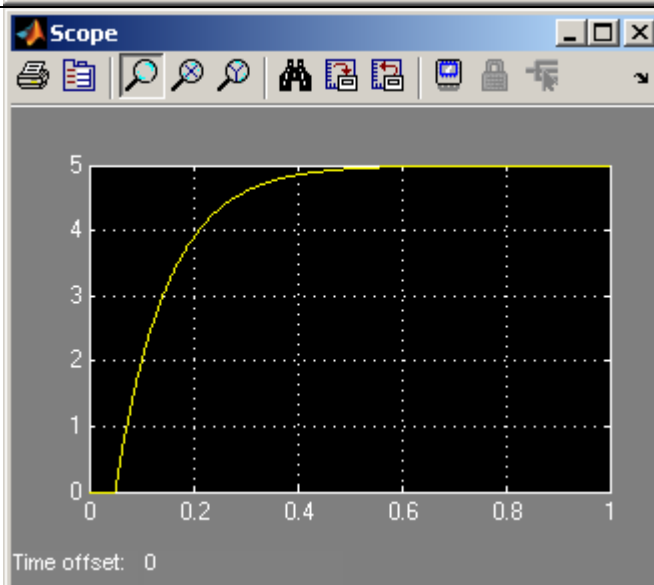
5



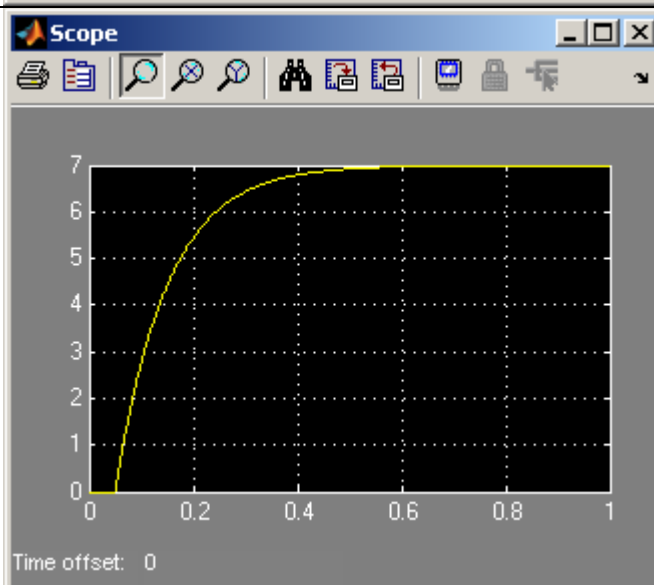
6

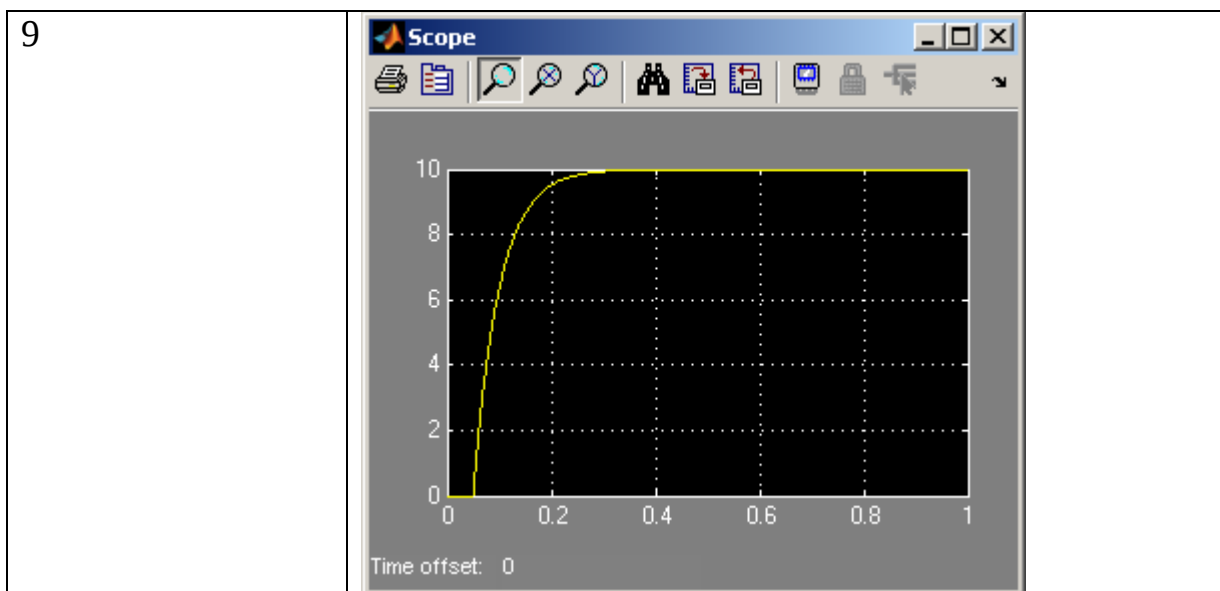


7



8





б) значение постоянной во времени уставки приведено в таблице 2

Младший символ месяца рождения (числа в месяце)	Уставка
0	5
1	10
2	8
3	9
4	7
5	3
6	6
7	12
8	4
9	11

в) Требуемый типовой переходной процесс указан в таблице 3

Младший символ шифра (число справа)	Типовой переходной процесс
0	Апериодический
1	С минимумом интегрального критерия качества
2	С 20% перерегулированием
3	Апериодический
4	С минимумом интегрального критерия качества
5	С 20% перерегулированием
6	Апериодический
7	С минимумом интегрального критерия качества
8	С 20% перерегулированием
9	Апериодический

Выполнение лабораторной работы следует начать с изучения теоретической части методических указаний. После освоения теоретического материала, студент может переходить к экспериментальной части работы. На всех этапах выполнения лабораторной работы параллельно ведется письменный отчет. Письменный отчет может оформляться в ученической тетради, либо на листах формата А4 рукописным или печатным способом.

Содержание письменного отчета:

1. Номер лабораторной работы.
2. Название лабораторной работы.
3. Цель лабораторной работы.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Экспериментальная часть.
6. Выводы по работе.

Теоретические сведения в отчете должны представлять собой краткий конспект с наиболее важными понятиями, определениями, формулами и моделями.

Экспериментальная часть должна оформляться в соответствии с планом экспериментальной части работы и в обязательном порядке включает в себя описания разрабатываемых в процессе выполнения работы экспериментальных установок, модели и графики, результаты измерений и расчеты, необходимые комментарии.

План экспериментальной части работы:

1. Выбор типа модели объекта регулирования на основе разгонной характеристики и оценка её параметров.
2. Выбор типа автоматического непрерывного регулятора.
3. Расчет параметров регулятора табличным методом.
4. Синтез модели системы автоматического регулирования с типовым регулятором в среде Matlab System (или иной, аналогичной среде).
5. Получение переходных характеристик системы автоматического регулирования.
6. Оценка достигнутых показателей качества и, при необходимости, ручная подстройка параметров типового регулятора.
7. Оценка достигнутых показателей качества при использовании другого типового регулятора.
8. Выводы по проделанной работе.

1. Методические указания по выполнению лабораторной работы

Теоретические сведения

Общие понятия и определения

Системой автоматического регулирования (сокращенно САР) называют такую систему, которая может поддерживать неизменное значение заданной характеристики технологического процесса (скорости движения, температуры, влажности, положения в пространстве и проч.) или изменять его по определенной программе без участия человека, то есть автоматически. Обеспечение заданных характеристик технологического процесса в некотором объекте обеспечивается путем регулирования его состояния.

Обобщенная структура системы автоматического регулирования замкнутого типа представлена на рисунке 1. Она представляет собой взаимодействующие объект регулирования (сокращенно ОР) и автоматический регулятор (Р).

Объектом регулирования называют объект, параметры которого требуется регулировать. Соответственно, устройство, которое регулирует состояние объекта регулирования, называют регулятором. Взаимодействующие между собой объект регулирования и регулятор образуют систему регулирования, а если регулятор является автоматическим, то – систему автоматического регулирования. Необходимость регулирования состояния объекта регулирования возникает как в связи с изначальным несоответствием состояния объекта требуемому в разные моменты времени, так и по причине возмущений на объект со стороны окружающей среды, вызывающих изменение его состояния.

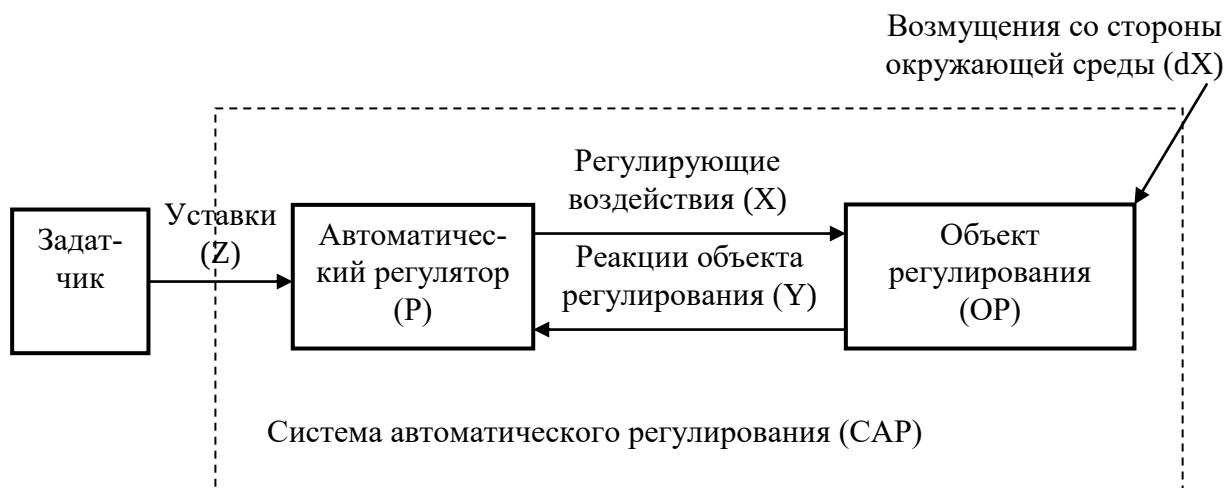


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования замкнутого типа

Параметр технологического процесса, значение которого требуется регулировать, называют регулируемой величиной.

Заданное (эталонное) значение регулируемого параметра Z формируется задатчиком и называется уставкой.

Регулирующие воздействия X со стороны регулятора для объекта регулирования формируются в результате сравнения значения уставки Z с реакцией объекта регулирования Y .

По сути, задача разработки системы автоматического регулирования состоит в синтезе и технической реализации автоматического регулятора, так как объект регулирования подразумевается уже существующим.

Автоматический регулятор может быть специализированным, то есть разработанным для решения какой-то узкой задачи управления, либо типовым, рассчитанным на решение широкого круга задач. Типовые регуляторы выпускаются промышленно и обеспечивают возможность реализации различных законов регулирования. На рис. 0 в качестве примера приведен микропроцессорный ПИД-регулятор марки Т-424, а в Приложении 1 приведены его основные технические характеристики.



Рис. 0

На рис. 00 приведен один из возможных вариантов использования микропроцессорного регулятора на примере автоматической линии упаковки пластиковых бутылок в термоусадочный тоннель.

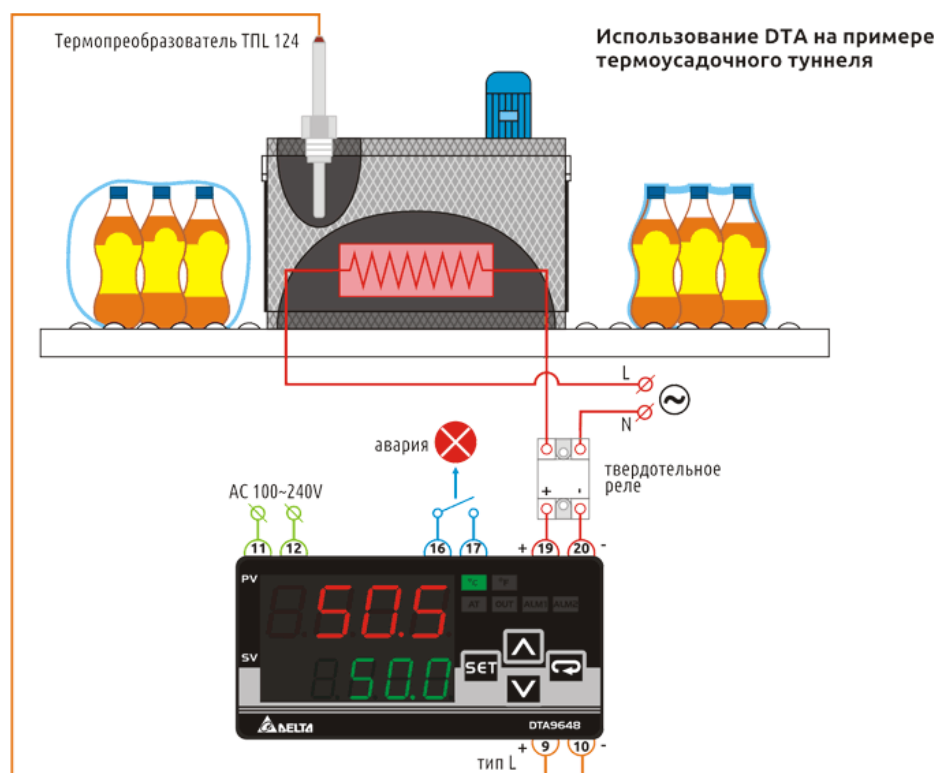


Рис.00

Как правило, при разработке системы автоматического регулирования требуется только выбрать готовый регулятор конкретного типа (либо задать у универсального соответствующий режим работы) и настроить его в соответствии с решаемыми задачами.

В данной лабораторной работе предлагается применить типовой непрерывный автоматический регулятор.

Последовательность разработки автоматического регулятора:

1. Оценка свойств и формализация объекта регулирования.
2. Предварительный подбор типа автоматического регулятора.
3. Определение требуемого типового переходного процесса.
4. Окончательный подбор типа автоматического регулятора.
5. Настройка конструктивных параметров автоматического регулятора.

Оценка свойств и формализация объекта регулирования

Тип и параметры автоматического регулятора определяются параметрами объекта регулирования и характеристиками требуемого переходного процесса.

Характеристики объекта регулирования на практике чаще всего находят экспериментальными методами. Одним из подходов является метод, основанный на анализе разгонной характеристики объекта регулирования.

Разгонная характеристика объекта регулирования представляет его реакцию на ступенчатое воздействие.

В зависимости от того, обладает объект регулирования свойством самовыравнивания (способностью самостоятельно приходить в состояние

равновесия) или нет, его разгонная характеристика имеет разный вид. На рисунке 2 приведены графики объектов (а) с самовыравниванием и (б) – без самовыравнивания.

а

б

Рис. 2. Разгонные характеристики

а – объекта с самовыравниванием

б – без самовыравнивания

Как видно из графика 2а значение выходного сигнала объекта с самовыравниванием с течением времени стремится к одному значению (следовательно, объект приходит в равновесие), тогда как у объекта без самовыравнивания сигнал с течением времени непрерывно изменяется. Объект с самовыравниванием в общем случае легче регулируется, чем объект без самовыравнивания, и регулятор для объекта с самовыравниванием необходим, в первую очередь, для ускорения процесса регулирования. Объект без самовыравнивания без участия регулятора вообще не способен прийти в равновесие, так как он неустойчив.

В зависимости от вида разгонной характеристики объекта регулирования выбирают его математическую модель. Математическая модель представляет собой совокупность типовых динамических звеньев, отражающую в целом характер объекта регулирования.

Математическая модель объекта с самовыравниванием имеет вид:

$$W_{op}(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{T \cdot p + 1}$$

Такой объект регулирования представляется последовательным соединением инерционного звена и звена чистого транспортного запаздывания (см. рис. 3).

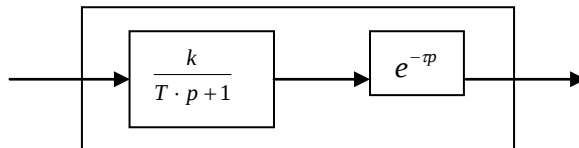


Рис. 3.

Инерционное звено моделирует изменение амплитуды пропускаемого сигнала и инерцию объекта при изменении его состояния, а звено чистого транспортного запаздывания – замедление отклика на внешние воздействия.

График разгонной характеристики такой модели схож с разгонной характеристикой реального объекта и имеет вид, представленный на рисунке 4.

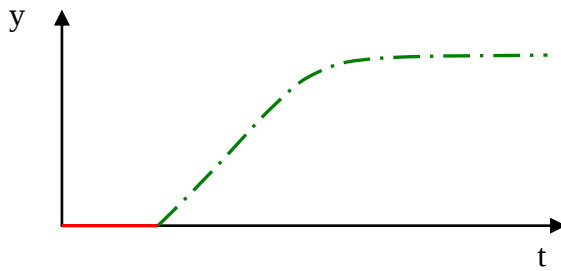


Рис. 4. Разгонная характеристика модели ОР с самовыравниванием (Красным сплошным – область характеристики, формируемая звеном чистого транспортного запаздывания, зеленым пунктиром с точкой - область характеристики, формируемая инерционным звеном)

Математическая модель объекта без самовыравнивания имеет вид:

$$W_{op}(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{p}$$

Данный объект регулирования представляется последовательным соединением интегрирующего звена и звена чистого транспортного запаздывания (см. рис. 5).

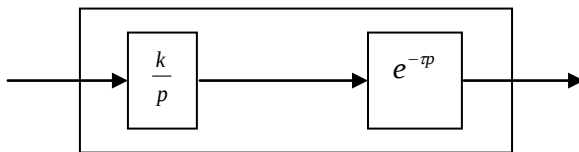


Рис. 5.

Интегрирующее звено моделирует постоянно возрастающий сигнал, а звено чистого транспортного запаздывания – замедление отклика.

Разгонная характеристика данной модели представлена на рисунке 6.

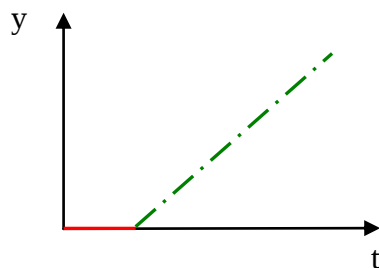


Рис. 6. Разгонная характеристика модели ОР без самовыравнивания (Красным сплошным – область характеристики, формируемая звеном чистого транспортного запаздывания, зеленым пунктиром с точкой - область характеристики, формируемая интегрирующим звеном)

После выбора модели объекта регулирования требуется определить конструктивные параметры составляющих его звеньев.

Для объекта регулирования, описываемого моделью на рис. 3. требуется оценить параметры:

k - статический коэффициент передачи;

T - постоянную времени;

τ - время запаздывания.

Для объекта регулирования, описываемого моделью на рис 5. следует оценить параметры:

k - динамический коэффициент передачи;

τ - время запаздывания.

Искомые конструктивные параметры модели объекта регулирования определяются непосредственно из его разгонной характеристики.

Методика оценки конструктивных параметров объекта регулирования с самовыравниванием включает в себя выполнение следующих операций (см. рис.7).

- на кривой разгона в точке перегиба проводится касательная (точка перегиба обозначена точкой);

- оценивается время запаздывания, как интервал времени от начала отсчета до точки пересечения касательной с осью времени;

- по горизонтали проводится линия установившегося значения выходной величины;

- оценивается значение постоянной времени, как интервал, начинающийся от точки пересечения касательной с осью времени и заканчивающийся точкой пересечения с линией установившегося значения выходной величины;

- оценивается значение статического коэффициента передачи, как отношение выходного сигнала объекта регулирования в статическом режиме y_{cm} к входному сигналу x (если входное воздействие является единичным ступенчатым, то $x=1$):

$$k = \frac{y_{cm}}{x}$$

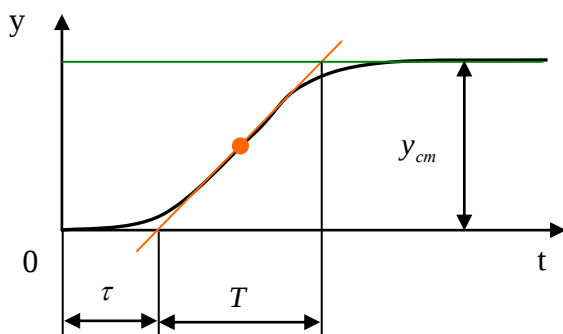


Рис. 7 Определение конструктивных параметров модели по разгонной характеристике объекта регулирования с самовыравниванием

Методика оценки конструктивных параметров объекта регулирования без самовыравнивания включает в себя выполнение следующих операций (см. рис.8).

- на кривой разгона в точке перегиба проводится касательная (точка перегиба обозначена точкой);

- оценивается время запаздывания, как интервал времени от начала отсчета до точки пересечения касательной с осью времени;

- строится прямоугольный треугольник произвольного размера с гипотенузой, образуемой касательной и катетами, параллельными осям координат, а затем оцениваются параметры Δh и Δt ;

- оценивается значение динамического коэффициента передачи как отношение удельного приращения к входному сигналу x (если входное воздействие является единичным ступенчатым, то $x=1$):

$$k = \frac{\Delta h / \Delta t}{x}$$

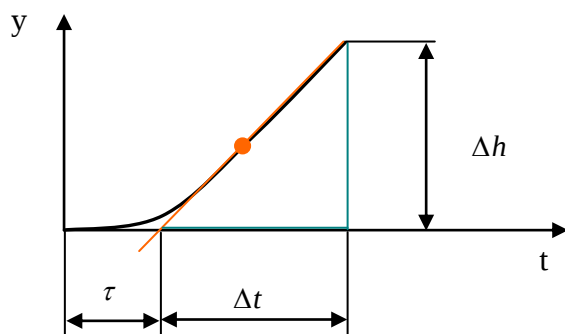


Рис. 8 Определение конструктивных параметров модели по разгонной характеристике объекта регулирования без самовыравнивания

После определения параметров модели объекта регулирования следует перейти к предварительному выбору типа регулятора

Предварительный подбор типа автоматического регулятора

Тип регулятора определяется конструкцией и параметрами объекта регулирования. Объекты без самовыравнивания являются труднорегулируемыми. Для объектов регулирования с самовыравниванием классификация их уровней регулируемости и рекомендуемые типы регуляторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение τ / T	Соотношение t_p / T	Характеристика объекта регулирования		Закон регулирования и тип регулятора
$[0, 0.05)$	-	Без запаздывания	Очень хорошо регулируемый	Релейный, непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД- регулятор
$[0.05, 0.1)$	-	С малым транспортным запаздыванием	Очень хорошо регулируемый	
$[0.1, 0.2)$	-	С существенным транспортным запаздыванием	Хорошо регулируемый	
$[0.2, 0.4)$	-	С очень существенным транспортным запаздыванием	Еще регулируемый	Непрерывный или цифровой П-, ПИ-, ПД-, ПИД- регулятор
$[0.4, 0.8)$	-	Со значительным транспортным запаздыванием	Трудно регулируемый	
$[0.8, 1)$	-	С большим транспортным запаздыванием	Очень трудно регулируемый	
$[1, \infty)$	-	С очень большим транспортным	Очень трудно регулируемый	Цифровой регулятор с упредителем

		запаздыванием		
--	--	---------------	--	--

* - релейный регулятор может быть как двух, так и многопозиционный.

После оценки свойства регулируемости объекта регулирования и предварительного подбора группы типовых регуляторов следует осуществить выбор типового переходного процесса, который должен быть обеспечен после включения объекта регулирования в контур управления разрабатываемой системы автоматического регулирования.

Определение требуемого типового переходного процесса

Конкретный вид переходного процесса, реализуемого разрабатываемой системой автоматического регулирования, определяется исходя из предполагаемых или фактических условий ее применения и основных требований, предъявляемых к системе при регулировании.

На практике для большинства задач может быть использован один из типовых процессов регулирования. Удобство использования типового процесса регулирования состоит в том, что для таких процессов существует множество готовых методик настройки регуляторов, не требующих сложных расчетов.

Типовыми процессами регулирования являются:

- аperiodический процесс регулирования;
- переходной процесс с 20% перерегулированием;
- переходной процесс с минимумом интегрального критерия качества.

Типовые процессы регулирования могут выражаться в виде импульсной или переходной характеристики. Ниже будут приведены импульсные характеристики соответствующие различным типовым процессам регулирования.

График аperiodического процесса регулирования представлен на рисунке 9.

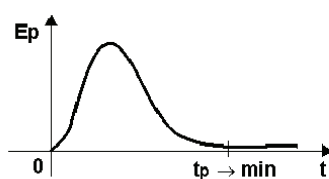


Рис. 9.

Аperiodический процесс регулирования применяется в случае, если недопустимы колебания регулируемого параметра относительно установившегося значения. Например, аperiodический процесс регулирования может быть использован для запуска и остановки эскалатора, так как в момент пуска и остановки на эскалаторе могут находиться люди и колебания дорожки недопустимы, либо данный процесс может применяться для запуска и остановки электродвигателя крановой установки для исключения срыва груза, для включения и отключения источника электропитания с целью исключения повреждения питаемых источником устройств от «всплесков» тока или напряжения и т.д.

Основным недостатком аperiodического процесса является в общем случае большее время регулирования по сравнению с иными типовыми процессами.

График процесса с 20% перерегулированием представлен на рисунке 10.

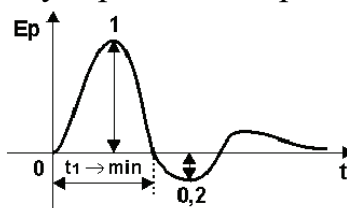


Рис. 10

Такой процесс регулирования применяется для большинства промышленных САР, так как по сравнению с аperiodическим обеспечивает большее быстродействие при относительно небольшом 20% перерегулировании.

В случае, если в переходном процессе допустимо 20% превышение регулируемым параметром установившегося значения, а приоритетным является быстродействие, следует остановиться на данном типовом процессе. График процесса с минимумом интегрального критерия качества представлен на рисунке 11.

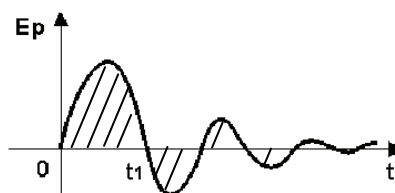


Рис. 11

Критерий качества представляет собой минимум суммарной квадратичной ошибки в переходном процессе:

$$J = \int_0^{+\infty} E_p^2(t) dt \rightarrow \min$$

Как правило, это достигается при 40% перерегулировании, поэтому данный типовой процесс часто называют типовым процессом с 40% перерегулированием.

По сравнению с иными типовыми процессами данный процесс обладает самым высоким быстродействием, однако «всплески» регулируемой величины могут достигать 40%.

В зависимости от выбранного типового процесса регулирования настройки регулятора должны быть различными.

Для регулирования одного и того же технологического процесса в общем случае могут использоваться несколько различных регуляторов, в различной мере позволяющих достичь требуемых показателей качества. Конкретный регулятор должен выбираться с учетом специфики его функционирования и целесообразности применения. Как правило, более сложные регуляторы позволяют обеспечить более высокое качество регулирования, но и их стоимость также выше по сравнению с более простыми регуляторами. Поэтому процесс выбора регулятора обычно представляет собой компромисс

между результатами и затратами. Учет специфики функционирования конкретного регулятора в общем случае позволит решить ту же задачу с наименьшими возможными затратами.

Окончательный подбор типа регулятора

Регуляторы бывают как дискретными, так и непрерывными. Далее приводятся сведения о функционировании и настройке непрерывных регуляторов. Непрерывные регуляторы, как и объект регулирования, представляют моделями, реализованными с использованием типовых звеньев. Среди непрерывных регуляторов выделяют: П-, И-, Д-, ПИ-, ПД-, ПИД-регуляторы. Причем, П-, И-, Д- являются элементарными регуляторами, а ПИ-, ПД- и ПИД – совокупностями элементарных. Для описания законов функционирования регуляторов используют их переходные характеристики.

П-регулятор (пропорциональный регулятор)

П-регулятор представляет собой пропорциональное звено с передаточной функцией идеального усилителя:

$$W(p) = k_p$$

где k_p - коэффициент передачи регулятора.

Выходной сигнал пропорционального регулятора Y , представляющий по сути управляющее воздействие на ОР (см. рис.1), есть величина, пропорциональная текущему рассогласованию (ошибке) между фактическим выходным сигналом объекта регулирования и заданным (эталонным) значением:

$$Y(t) = Y_0 + k_p \cdot E_p(t)$$

где E - величина рассогласования на входе регулятора;

Y_0 – рабочая точка, значение выходного сигнала регулятора, при котором рассогласование равно нулю.

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие имеет вид, представленный на рисунке 11.

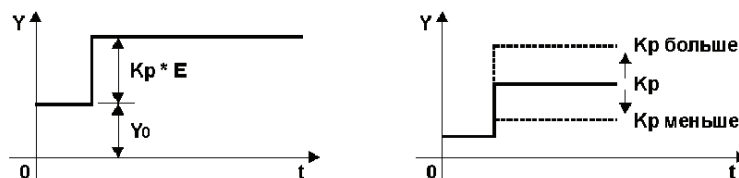


Рис.11

На рисунке показано также влияние коэффициента передачи на выходной сигнал регулятора.

И-регулятор (интегральный регулятор)

И-регулятор представляет собой интегрирующее звено с передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{k_p}{p}$$

Выходной сигнал интегрального регулятора Y , представляющий по сути управляющее воздействие на ОР (см. рис.1), есть величина, пропорциональная интегралу рассогласования (ошибки) между фактическим выходным сигналом объекта регулирования и заданным (эталонным).

$$Y(t) = Y_0 + \frac{1}{T_{II}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt$$

T_{II} - время интегрирования.

Физический смысл времени интегрирования T_{II} состоит в том, что это интервал времени, в течение которого изменение выходного сигнала регулятора под действием интегральной составляющей станет равно величине входного ступенчатого воздействия.

Отличительной особенностью интегрального регулятора является возможность постепенного накопления (в результате интегрирования (бесконечного суммирования) во времени) даже очень маленького рассогласования, что позволяет впоследствии устранить любое рассогласование, достигнув астатизма процесса регулирования. Это бывает полезно для устранения минимальных отклонений у объектов регулирования с существенным внутренним трением. Если воздействие, формируемое пропорциональным регулятором при постоянной величине рассогласования, может оказаться недостаточным для изменения состояния такого объекта регулирования, то интегральный регулятор в результате накопления отклонения будет формировать линейно возрастающее во времени воздействие на объект регулирования до тех пор, пока тот не изменит свое состояние.

В чистом виде интегральные регуляторы, как правило, не используются.

Д-регулятор (дифференциальный регулятор)

Д-регулятор представляет собой идеальное дифференцирующее звено с передаточной функцией:

$$W(p) = k_p \cdot p$$

Выходной сигнал дифференциального регулятора Y , представляющий, по сути, управляющее воздействие на ОР (см. рис.1), есть величина, пропорциональная скорости изменения рассогласования (ошибки) между фактическим выходным сигналом объекта регулирования и заданным (эталонным):

$$Y(t) = Y_0 + T_D \cdot \frac{dE_p(t)}{dt}$$

T_D - время дифференцирования.

Управляющее воздействие дифференциального регулятора представляет собой величину, пропорциональную скорости изменения ошибки. При постоянном значении ошибки управляющее воздействие отсутствует. Данный тип регулятора называют регулятором с опережением, так как он

реагирует не на саму ошибку, а на тенденцию в её изменении. Это позволяет улучшить качество регулирования вследствие того, что управляющее воздействие изменяется не при достижении рассогласования какой-либо существенной величины, а еще в процессе его роста. Отдельно данные регуляторы применяют достаточно редко, их используют в конструкциях более сложных регуляторов.

ПИ-регулятор (пропорционально-интегральный регулятор)

Представляет собой параллельно функционирующие пропорциональный и интегральный регуляторы.

Передаточная функция регулятора имеет вид:

$$W(p) = \frac{k_{p1}}{p} + k_{p2}$$

где k_{p2} , k_{p1} - коэффициенты передачи пропорциональной и интегральной составляющей соответственно.

Выходной сигнал ПИ-регулятора представляет сумму сигналов П- и И-регуляторов:

$$Y(t) = Y_0 + \frac{1}{T_{II}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + k_{p2} \cdot E_p(t) \quad (15)$$

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие представлена на рисунке 12.

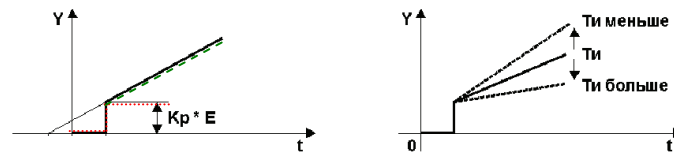


Рис.12

Красными точками обозначена пропорциональная составляющая, а зеленым пунктиром - интегральная составляющая результирующего сигнала

ПИ-регулятор как и иные составные регуляторы (ПД-, ПИД-) может быть реализован в соответствии с двумя моделями: моделью параллельной и моделью смешанной структуры. При параллельной структуре каждый элементарный регулятор реализуется независимой параллельной веткой структурной схемы. При смешанной структуре сначала задают общий коэффициент передачи регулятора, а в отдельных параллельных ветках вычисляют приведенные параметры элементарных регуляторов. Как следствие, параллельная структура регулятора в отличие от смешанной позволяет настраивать каждую из составляющих регулятора независимо.

Результаты функционирования регулятора независимо от структуры одинаковы, так как схемы равносильны.

Структурная схема регулятора при параллельном соединении элементов представлена на рисунке 13.

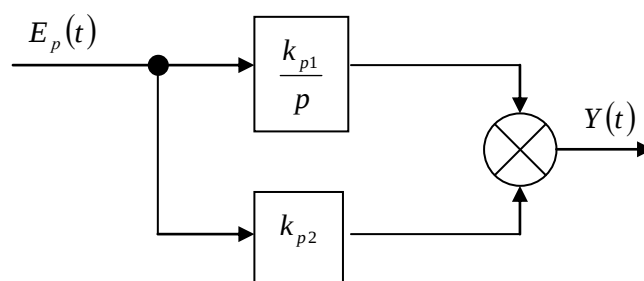


Рис. 13

Причем, $k_{p1} = \frac{1}{T_{II}}$

При смешанной структуре формула (15) преобразуется с целью вынести за скобки общий коэффициент передачи регулятора:

$$Y(t) = Y_0 + \frac{1}{T_{II}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + k_{p2} \cdot E_p(t) = k_{p2} \left(E_p(t) + \frac{1}{k_{p2} \cdot T_{II}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt \right) + Y_0 =$$

$$= k_p \left(E_p(t) + \frac{1}{T_{II3}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt \right) + Y_0$$

где T_{II3} – время изодрома.

Физический смысл времени изодрома состоит в том, что это интервал времени, в течение которого интегральная составляющая регулятора даёт такое же по величине приращение выходного сигнала, что и пропорциональная составляющая.

При этом, очевидно, время изодрома связано с временем интегрирования соотношением:

$$T_{II} = \frac{T_{II3}}{k_p}$$

Структурная схема регулятора смешанной структуры представлена на рисунке 14.

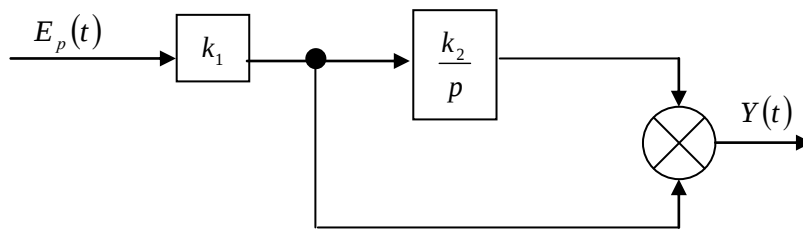


Рис.14

На рисунке $k_1 = k_p$, $k_2 = \frac{1}{T_{II3}}$

ПИ-регуляторы смешанной структуры часто называют изодромными.

ПД-регулятор (пропорционально-дифференциальный регулятор)

Представляет собой параллельно функционирующие пропорциональный и дифференциальный регуляторы.

Передающая функция регулятора имеет вид:

$$W(p) = k_{p1} \cdot p + k_{p2}$$

где k_{p2} , k_{p1} - коэффициенты передачи пропорциональной и дифференциальной составляющей соответственно.

Выходной сигнал ПД-регулятора представляет сумму сигналов П- и Д-регуляторов:

$$Y(t) = Y_0 + T_\partial \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + k_{p2} \cdot E_p(t) \quad (16)$$

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие представлена на рисунке 15.

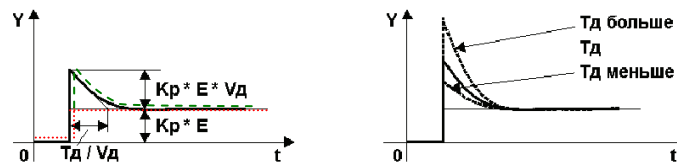


Рис.15

Красными точками обозначена пропорциональная составляющая, а зеленым пунктиром - дифференциальная составляющая результирующего сигнала

Структурная схема регулятора с параллельным соединением элементов представлена на рисунке 13.

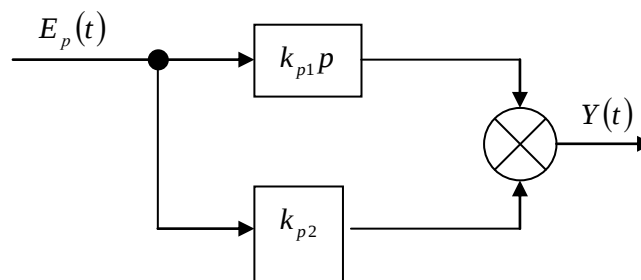


Рис. 15

Причем, $k_{p1} = T_\partial$

При смешанной структуре формула (16) преобразуется с целью вынести за скобки общий коэффициент передачи регулятора:

$$\begin{aligned} Y(t) &= Y_0 + T_\partial \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + k_{p2} \cdot E_p(t) = k_{p2} \left(E_p(t) + \frac{T_\partial}{k_{p2}} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0 = \\ &= k_p \left(E_p(t) + T_{пп} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0 \end{aligned}$$

где $T_{пп}$ – время предварения (опережения).

Физический смысл времени предварения состоит в том, что это интервал времени, в течение которого дифференциальная составляющая регулятора даёт такое же по величине приращение выходного сигнала, что и пропорциональная составляющая.

При этом, очевидно, время предварения связано с временем дифференцирования соотношением:

$$T_{пп} = \frac{T_\partial}{k_p}$$

Структурная схема регулятора смешанной структуры представлена на рисунке 16.

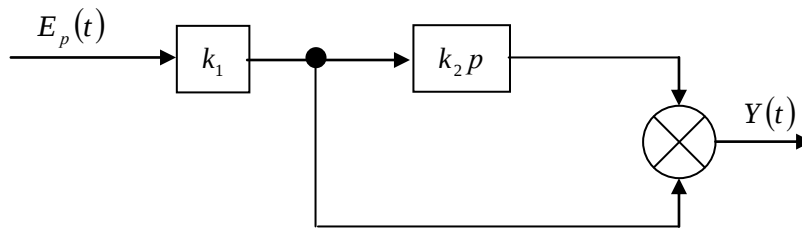


Рис.16

На рисунке $k_1 = k_p$, $k_2 = T_{\text{ДП}}$

ПИД-регулятор (пропорционально – интегрально – дифференциальный регулятор)

Является наиболее сложным из рассматриваемых регуляторов и представляет собой параллельно функционирующие пропорциональный, дифференциальный и интегральный регуляторы.

Передаточная функция регулятора имеет вид:

$$W(p) = \frac{k_{p0}}{p} + k_{p1} \cdot p + k_{p2}$$

где k_{p0} , k_{p2} , k_{p1} - коэффициенты передачи интегральной, дифференциальной и пропорциональной составляющей соответственно.

Выходной сигнал ПИД-регулятора представляет сумму сигналов П-, И- и Д-регуляторов:

$$Y(t) = Y_0 + T_{\text{Д}} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + \frac{1}{T_{\text{И}}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + k_{p2} \cdot E_p(t) \quad (17)$$

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие представлена на рисунке 17.

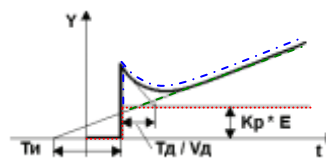


Рис. 17

Красными точками обозначена пропорциональная составляющая, зеленым пунктиром – интегральная, а синей точкой с пунктиром - дифференциальная составляющая результирующего сигнала

Структурная схема регулятора с параллельным соединением элементов представлена на рисунке 18.

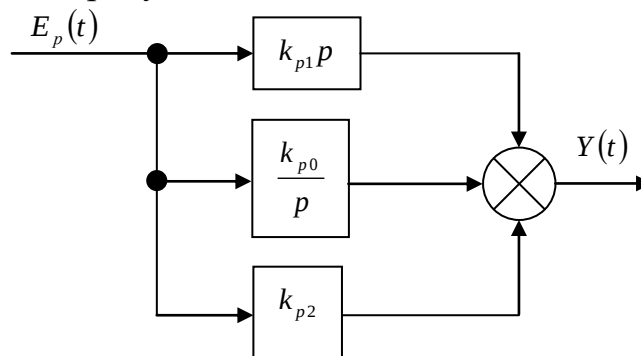


Рис. 18

Причем, $k_{p0} = \frac{1}{T_H}$, $k_{p1} = T_\partial$, $k_{p2} = k$

При смешанной структуре формула (17) преобразуется с целью вынести за скобки общий коэффициент передачи регулятора:

$$\begin{aligned} Y(t) &= Y_0 + \frac{1}{T_H} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + T_\partial \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + k_{p2} \cdot E_p(t) = \\ &= k_{p2} \left(E_p(t) + \frac{1}{k_{p2} \cdot T_H} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + \frac{T_\partial}{k_{p2}} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0 = \\ &= k_p \left(E_p(t) + \frac{1}{T_{ИЗ}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + T_{ПР} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0 \end{aligned}$$

где $T_{ПР}$ – время предварения (опережения);

$T_{ИЗ}$ – время изодрома.

Структурная схема ПИД-регулятора смешанной структуры представлена на рисунке 19.

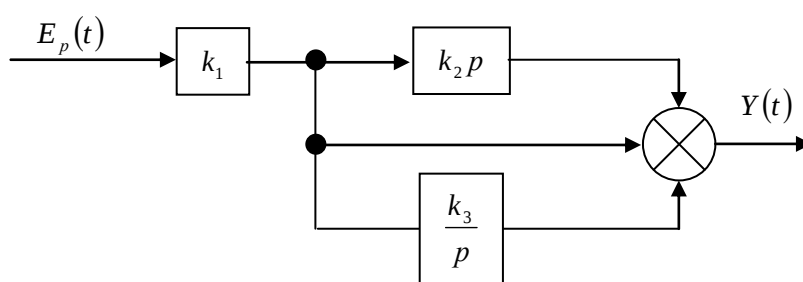


Рис.19

На рисунке $k_1 = k_p$, $k_2 = T_{ПР}$, $k_3 = \frac{1}{T_{ИЗ}}$.

Для того, чтобы обеспечить регулирование технологического параметра объекта регулирования в соответствии с типовым переходным процессом требуется осуществить настройку параметров автоматического регулятора.

Настройка конструктивных параметров автоматического регулятора

Настройка регулятора на практике осуществляется одним из инженерных способов. При этом параметры объекта регулирования могут быть как известны, так и нет.

Если при изучении объекта регулирования, анализировалась его разгонная характеристика, то конструктивные параметры объекта регулирования известны.

В этом случае приблизительная настройка параметров регулятора на реализацию заданного типового процесса регулирования осуществляется с использованием эмпирических формул, которые позволяют вычислить

основные конструктивные параметры автоматического регулятора конкретного типа в зависимости, как от заданного типового переходного процесса, так и от характеристик объекта регулирования.

Для удобства расчетные формулы сводят в таблицу 2.

Таблица 2

Тип регулятора	Типовой переходный процесс		
	Апериодический	С 20% перерегулированием	$\min \int \Delta y^2 dt$ (с 40% перерегулированием)
И	$K_p = \frac{1}{4.5 \cdot K_o \cdot T_o}$	$K_p = \frac{1}{1.7 \cdot K_o \cdot T_o}$	$K_p = \frac{1}{1.7 \cdot K_o \cdot \tau_o}$
П	$K_p = \frac{0.3 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$	$K_p = \frac{0.7 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$	$K_p = \frac{0.9 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$
ПИ	$K_p = \frac{0.6 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 0.6 \cdot T_o$	$K_p = \frac{0.7 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 0.7 \cdot T_o$	$K_p = \frac{1.0 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = T_o$
ПИД	$K_p = \frac{0.95 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 2.4 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.4 \cdot \tau_o$	$K_p = \frac{1.2 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 2.0 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.4 \cdot \tau_o$	$K_p = \frac{1.4 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 1.3 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.5 \cdot \tau_o$

В таблице: K_p – статический коэффициент передачи регулятора;

T_{up} , T_{np} – время издрома и предварения регулятора соответственно;

K_o, τ_o, T_o – статический коэффициент передачи, замедление отклика и постоянная времени объекта регулирования соответственно.

После предварительной (грубой) настройки параметров регулятора требуется на вход разработанной системы автоматического регулирования подать ступенчатое воздействие (либо единичный импульс) и получить переходную характеристику (импульсную характеристику). Убедившись в устойчивости процесса регулирования и проведя необходимые измерения на переходной характеристике, вычисляют достигнутые показатели качества регулирования, главными из которых являются время регулирования и максимальное относительное перерегулирование.

При необходимости выполняется более тонкая ручная подстройка параметров автоматического регулятора.

Экспериментальная часть

Модель разработанной системы автоматического регулирования может быть реализована в различных средах моделирования. Предпочтительным является использование следующих сред моделирования: Matlab System, MBTU 3.7, Scilab 5.5.0. Все перечисленные среды моделирования предоставляют возможность визуального проектирования модели системы автоматического регулирования, причем последние два из указанных

продуктов к тому же являются свободно распространяемым и могут быть скачаны из сети Интернет с соответствующих ресурсов.

Далее приводится описание процесса моделирования в визуальном пакете Simulink среды Matlab System. Моделирование в других продуктах в целом осуществляется аналогично, за исключением небольших отличий реализации программного интерфейса.

Разработка системы автоматического регулирования для удобства может осуществляться в соответствии с системным подходом. В соответствии с ним первоначально система автоматического регулирования рассматривается в виде «черного ящика» с некоторым количеством входов и выходов, затем разрабатывается общая структура системы автоматического регулирования и в последнюю очередь раскрывается реализация отдельных её элементов.

С этой целью в процессе синтеза схемы потребуется использовать элемент Subsystem – подсистема. Элемент «подсистема» позволяет скрыть внутреннюю реализацию элементов системы автоматического регулирования. Многократно используя данный элемент можно представить элементы различных уровней детализации системы автоматического регулирования в виде «матрешки».

Удобно выделить три уровня синтеза модели, отличающиеся уровнем детализации описания:

1. Общая схема экспериментальной установки, включающая в себя систему автоматического регулирования, формирователь уставок, внешних возмущений и устройство индикации.
2. Обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования в соответствии с рис.1, включающая в себя взаимодействующие между собой автоматический регулятор и объект регулирования.
3. Структурные схемы автоматического регулятора и объекта регулирования.

Запустите пакет Simulink среды Matlab. Дождитесь загрузки обозревателя элементов «Simulink library browser», после чего создайте новый лист для разработки модели, последовательно выбирая в главном (верхнем) меню обозревателя пункты: File – New – Model.

Сначала САР изображается в виде прямоугольника (блок subsystem) с входами для возмущающих воздействий и для заданного значения регулируемого параметра, к выходу подключают осциллограф (рис.а)

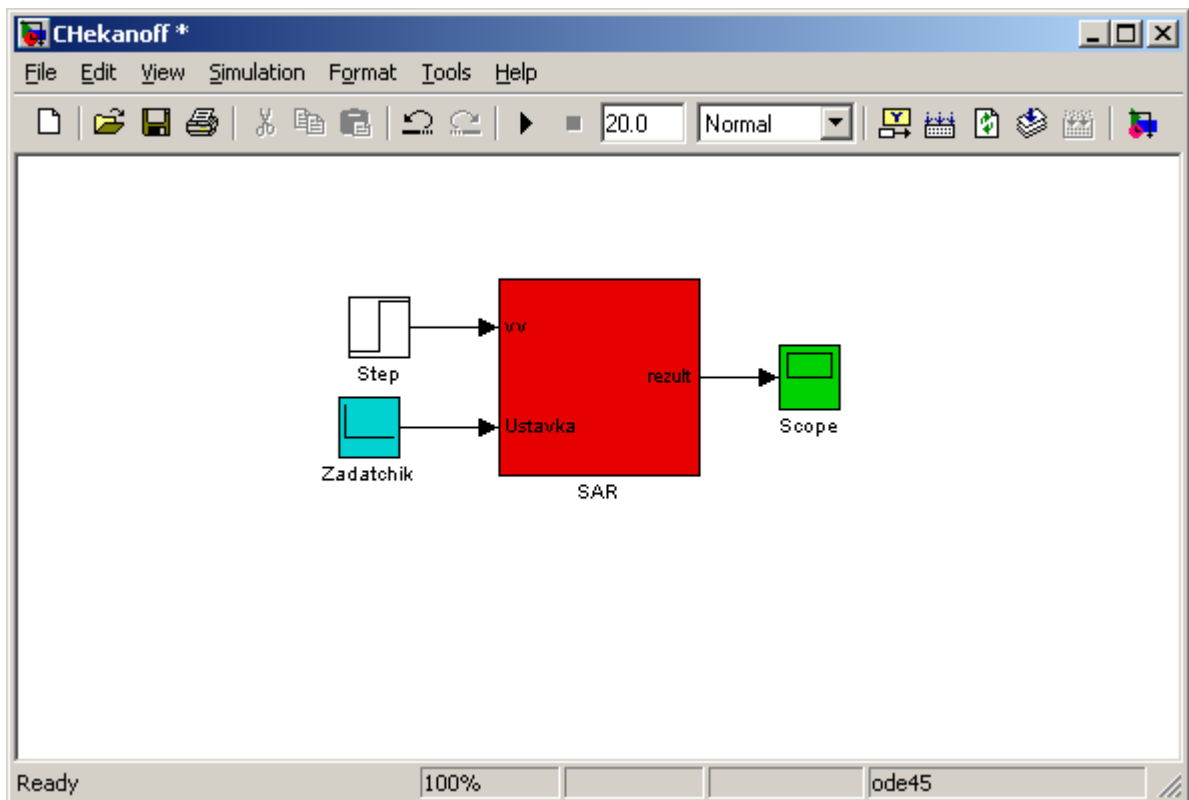


Рис. А

Двойным кликом открывается структура блока subsystem и приводится общая структура замкнутой САР в виде взаимодействующих типового регулятора и объекта регулирования (см. рис.б)

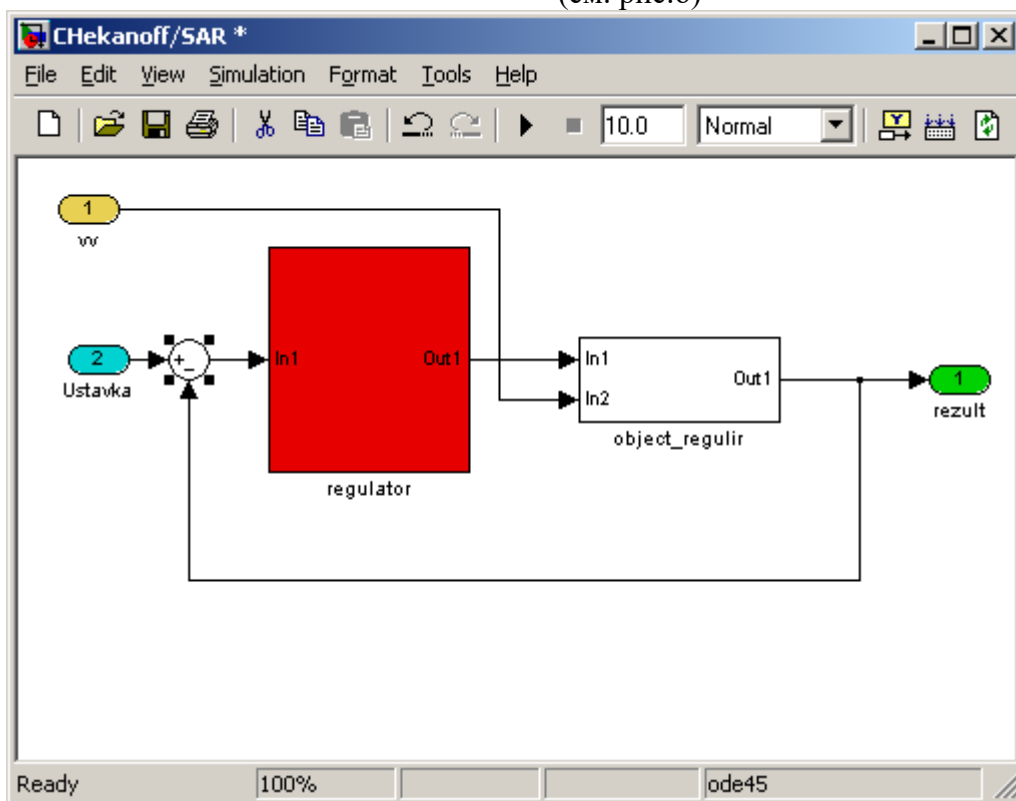


Рис.б.

Двойным кликом по блоку регулятора открывается окно моделирования его внутренней реализации, где и приводится типовая структура регулятора П, ПИ, ПИД и т.д, а также настройка его параметров (см. рис.в)

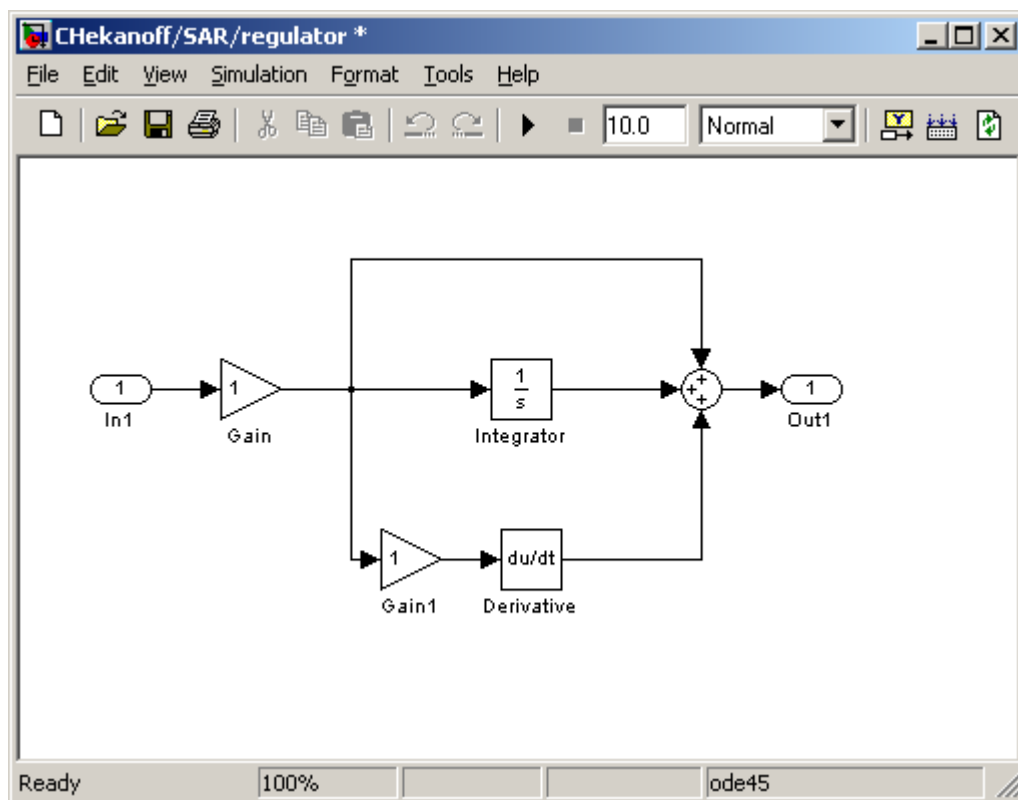


Рис.в

Аналогично реализуется модель объекта регулирования (рис. г)

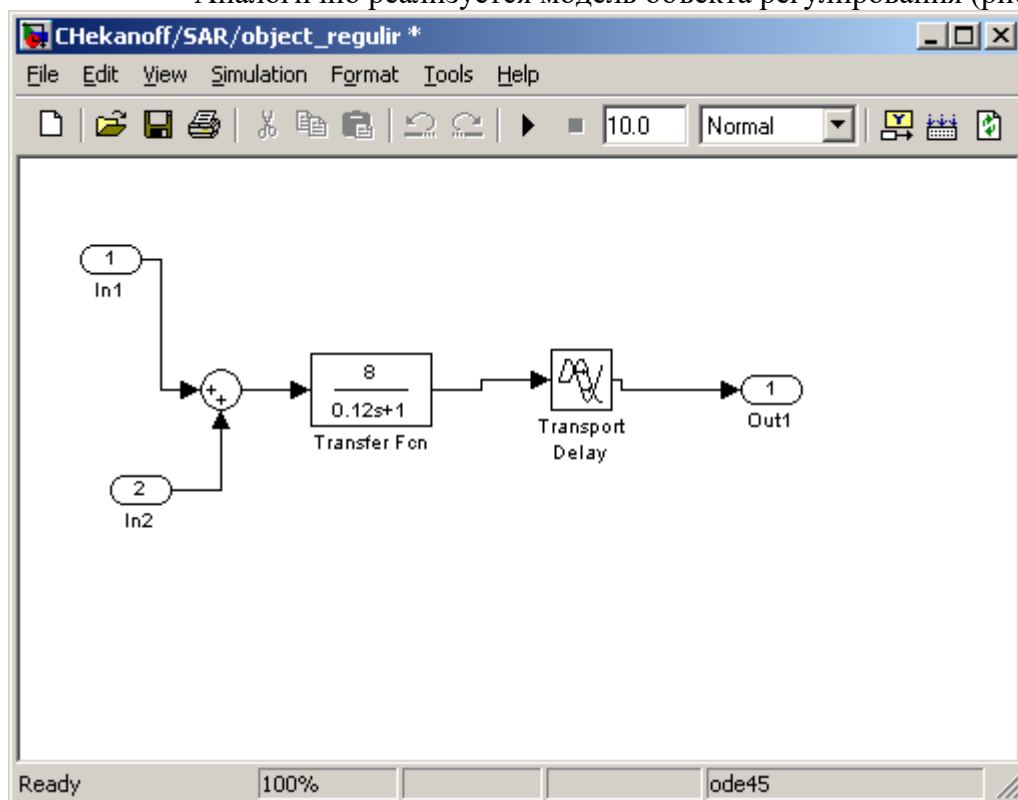


Рис.г.

После реализации структурной схемы САР запускается моделирование, как обычно и снимаются достигнутые показатели качества, полученные на основании расчета. При необходимости выполняется дополнительная тонкая ручная подстройка.

Лабораторная работа №2

Название: «Синтез и исследование кодеров и декодеров инверсного кода»

Цель работы: изучение принципа построения инверсного кода, способа обнаружения и исправления ошибок, получение навыков синтеза кодеров и декодеров инверсного кода, исследование корректирующих способностей кода.

Задание

Разработать телемеханическую систему, содержащую кодер и декодер инверсного кода. Смоделировать искажения различной кратности и оценить корректирующие способности кода. Сравнить полученные на основе моделирования результаты с оценками, полученными расчетным путем.

Исходные данные:

1. Информационная емкость кода – 16 сообщений.
2. Передаваемое сообщение представляет собой четырехразрядное двоичное число, полученное в результате преобразования в двоичный код суммы последней и предпоследней цифры шифра студента.

В процессе выполнения задания необходимо:

1. Выполнить расчет и построение сообщения в инверсном коде
2. Произвести структурный синтез кодирующего устройства в среде MBTU 3.7.
3. Произвести структурный синтез декодирующего устройства в среде MBTU 3.7.

* вместо среды MBTU 3.7 можно использовать свободно распространяемый продукт Scilab 5.4

4. Провести моделирование различных искажений при передаче и исследование корректирующих способностей синтезированного декодера. При исследовании корректирующих способностей следует смоделировать следующие ситуации:

- сообщение принято без искажений;
- одиночная ошибка в информационных разрядах;
- одиночная ошибка в контрольных разрядах;
- двойная ошибка в информационных разрядах;
- двойная ошибка в контрольных разрядах;
- одновременно одиночная ошибка в контрольном разряде и одиночная - в информационном;
- тройная ошибка в любых разрядах кодовой комбинации;
- четверная ошибка в любых разрядах кодовой комбинации.

Выбор искажаемых разрядов для получения каждого из типов искажений осуществляется студентом по своему усмотрению.

Выполнение лабораторной работы следует начать с изучения теоретических сведений о коде. После освоения теоретического материала, студент может переходить к экспериментальной части работы. На всех

этапах выполнения лабораторной работы параллельно ведется письменный отчет. Письменный отчет может оформляться в ученической тетради, либо на листах формата А4 рукописным или печатным способом.

Содержание письменного отчета:

1. Номер лабораторной работы.
2. Название лабораторной работы.
3. Цель лабораторной работы.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Экспериментальная часть.
6. Выводы по работе.

Теоретические сведения в отчете должны представлять собой краткий конспект с наиболее важными понятиями, определениями, формулами и моделями.

Экспериментальная часть должна оформляться в соответствии с планом экспериментальной части работы и в обязательном порядке включает в себя описания разрабатываемых в процессе выполнения работы экспериментальных установок, модели и графики и расчеты, необходимые комментарии.

План экспериментальной части работы:

1. Краткие пояснения по синтезу структурных схем кодера и декодера с расчетными формулами.
2. Структурные схемы кодера и декодера.
3. Таблица с результатами исследования корректирующих способностей кода путем моделирования ошибок различной кратности.
4. Аналитический расчет корректирующих способностей кода.
5. Сравнение результатов, полученных путем моделирования, с результатами аналитических расчетов.
6. Выводы по проделанной работе.

Таблица 3

Формат таблицы с результатами исследования корректирующих способностей кода

Номер сообщения: (десятичное число)		Исходный двоичный код: k3k2k1k0=					
Передаваемое сообщение в инверсном коде: r3r2r1r0k3k2k1k0=							
Моделируемая ситуация	Принятое сообщение	Значения синдромов				Заключение на основе значений синдромов	Общее заключе- ние
		i3	i2	i1	i0		
Ошибок нет		0	0	0	0	Ошибок не обнаружено (пояснение).	Верно

[illegible]

исправляются, а какие – нет? Как это соотносится с минимальным кодовым расстоянием?)

Лабораторная работа №3

Название: «Синтез и исследование кодеров и декодеров кода Хемминга»

Цель работы: изучение принципа построения кода Хемминга, способа обнаружения и исправления ошибок, получение навыков синтеза кодеров и декодеров кода Хемминга, исследование корректирующих способностей кода.

Задание

Разработать телемеханическую систему, содержащую кодер и декодер кода Хемминга. Смоделировать искажения различной кратности и оценить корректирующие способности кода. Сравнить полученные на основе моделирования результаты с оценками, полученными расчетным путем.

Исходные данные:

3. Информационная емкость кода – 16 сообщений.
4. Передаваемое сообщение представляет собой четырехразрядное двоичное число, полученное в результате преобразования в двоичный код суммы последней и предпоследней цифры шифра студента.

В процессе выполнения задания необходимо:

1. Выполнить расчет и построение сообщения в коде Хемминга
2. Произвести структурный синтез кодирующего устройства в среде MBTU 3.7.
3. Произвести структурный синтез декодирующего устройства в среде MBTU 3.7.

* вместо среды MBTU 3.7 можно использовать свободно распространяемый продукт Scilab 5.4

4. Провести моделирование различных искажений при передаче и исследование корректирующих способностей синтезированного декодера. При исследовании корректирующих способностей следует смоделировать следующие ситуации:

- сообщение принято без искажений;
- одиночная ошибка в информационных разрядах;
- одиночная ошибка в контрольных разрядах;
- двойная ошибка в информационных разрядах;
- двойная ошибка в контрольных разрядах;
- одновременно одиночная ошибка в контрольном разряде и одиночная - в информационном;
- тройная ошибка в любых разрядах кодовой комбинации;
- четверная ошибка в любых разрядах кодовой комбинации.

Выбор искажаемых разрядов для получения каждого из типов искажений осуществляется студентом по своему усмотрению.

Выполнение лабораторной работы следует начать с изучения теоретических сведений о коде. После освоения теоретического материала,

студент может переходить к экспериментальной части работы. На всех этапах выполнения лабораторной работы параллельно ведется письменный отчет. Письменный отчет может оформляться в ученической тетради, либо на листах формата А4 рукописным или печатным способом.

Содержание письменного отчета:

7. Номер лабораторной работы.
8. Название лабораторной работы.
9. Цель лабораторной работы.
10. Краткие теоретические сведения.
11. Экспериментальная часть.
12. Выводы по работе.

Теоретические сведения в отчете должны представлять собой краткий конспект с наиболее важными понятиями, определениями, формулами и моделями.

Экспериментальная часть должна оформляться в соответствии с планом экспериментальной части работы и в обязательном порядке включает в себя описания разрабатываемых в процессе выполнения работы экспериментальных установок, модели и графики и расчеты, необходимые комментарии.

План экспериментальной части работы:

1. Краткие пояснения по синтезу структурных схем кодера и декодера с расчетными формулами.
2. Структурные схемы кодера и декодера.
3. Таблица с результатами исследования корректирующих способностей кода путем моделирования ошибок различной кратности.
4. Аналитический расчет корректирующих способностей кода.
5. Сравнение результатов, полученных путем моделирования, с результатами аналитических расчетов.
6. Выводы по проделанной работе.

Таблица 3

Формат таблицы с результатами исследования корректирующих способностей кода

Номер сообщения: (десятичное число)		Исходный двоичный код: k3k2k1k0=				
Передаваемое сообщение в коде Хемминга: k3k2k1r2k0r1r0=						
Моделируемая ситуация	Принятое сообщение	Значения синдромов			Заключение на основе значений синдромов	Общее заключе- ние
		i2	i1	i0		
Ошибок нет		0	0	0	Ошибок не обнаружено (пояснение).	Верно

Ошибка в инф.разряде		0	1	1	Обнаружена ошибка, которая может быть исправлена. Ошибка в 3 разряде, т.е. в k0 (пояснение).	Верно
Ошибка в контрольном разряде		0	1	0	Обнаружена ошибка, которая может быть исправлена. Ошибка во 2 разряде, т.е. в r1 (пояснение).	Верно
Ошибка в двух информационных разрядах		0	1	1	Обнаружена ошибка, которая может быть исправлена. Ошибка в 3 разряде, т.е. в k0 (пояснение).	Обнаружена верно, исправлена неверно
Ошибка в двух контрольных разрядах		1	0	1	Обнаружена ошибка, которая может быть исправлена. Ошибка в 5 разряде, т.е. в k1 (пояснение).	Обнаружена верно, исправлена неверно
Ошибка в одном информационном и одном контрольном разрядах		1	0	1	Обнаружена ошибка, которая может быть исправлена. Ошибка в 5 разряде, т.е. в k1 (пояснение).	Обнаружена верно, исправлена неверно
Тройная ошибка		0	0	0	Ошибок не обнаружено (пояснение).	Неверно
Ошибка в четырех разрядах		1	0	0	Обнаружена ошибка, которая может быть исправлена. Ошибка в 4 разряде, т.е. в r2 (пояснение).	Неверно

Общий вывод (Какие ошибки корректно обнаруживаются, какие – корректно исправляются, а какие – нет? Как это соотносится с минимальным кодовым расстоянием?)