САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Кафедра АХТП

### **КУРСОВАЯ РАБОТА**

по

#### ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

**«СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МАССЫ КВАДРАТНОГО МЕТРА БУМАЖНОГО ПОЛОТНА**

**ПО ЗАДАННЫМ КРИТЕРИЯМ КАЧЕСТВА»**

Выполнил: студент **V** курса .

Ситников С. А. .

шифр 965-450 .

Проверил: преподаватель .

Селянинова Л. Н. .

С.-ПЕТЕРБУРГ

2000г.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Наименование элементов схемы АСР, их математическая модель, параметры модели. Рассматриваемые воздействия. Требования к проектируемой системе регулирования.** | **Обозначения переменных.** | **Размерность переменных** | **Значение** |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1. | Объект регулирования. Канал: “изменение расхода массы - изменение массы 1 м2  полотна”. Математическая модель объекта:  Wоб(р) = К0  Параметры модели:   1. постоянная времени объекта 2. коэффициент передачи объекта 3. запаздывание по рассматриваемому каналу передачи информации | Т  К0  τ | *с*    *с* | 50  112  120 |
| 2. | Измерительное устройство, датчик электронный с преобразователем.  Математическая модель датчика:    Параметр модели: коэффициент передачи | Кд | *ma* | 0,25 |
| 3. | Регулирующий блок /совокупность электронного регулятора и электродвигателя/ приближенно реализует ПИ-закон регулирования.  Математическая модель регулирующего блока:  К1 - пропорциональная составляющая закона регулирования  К2 - интегральная составляющая закона регулирования | К1  К2 |  |  |
| 4. | Регулирующий орган: клапан  Модель клапана:  Параметры модели: коэффициент передачи | Кро |  | 0,0104 |
| 5. | Требования к качеству работы проектируемой системы:   1. Точность регулирования массы 1 м2 полотна 2. Минимальное значение степени затухания | ε  ∍ | *г/м2* | 0,4  0,75 |
| 6. | Типовые входные воздействия:   1. Изменение задающего воздействия:     2. Изменение концентрированной массы: | С1  С2 | *г/м2*  *% конц*. | 1,5  -3 |
| 7. | Канал передачи возмущения:  “Изменение концентрации массы” – “изменение массы 1 м2 полотна” : | Кf1Тf1 | *с* | 1,1  60 |

##### Задача

Цель создания автоматической системы – достичь того, чтобы значение массы 1 кв. м. бумажного полотна было равно заданному. При этом требуется, чтобы точность регулирования, т.е. возможное отклонение, находилось в определенных пределах. Поэтому, для синтеза системы выбран принцип управления по отклонению регулируемой величины от задания.

##### Принцип работы

Объект регулирования – напорный ящик БДМ.

Регулируемая величина – масса 1 кв.м. полотна.

Регулирующая величина – расход массы.

Возмущающее воздействие – изменение концентрации массы.

Автоматический регулятор – средство решения задачи регулирования.

Автоматический регулятор состоит из электронного датчика измеряющего массу 1 кв.м. полотна, регулирующего блока (электрорегулятор и электродвигатель), приблизительно соответствующего ПИ-закону регулирования, клапана, изменяющего расход бумажной массы.

1. - бак массы
2. – напорный ящик
3. – сушильные группы
4. – каландр
5. – датчик массы 1кв.м. полотна
6. – преобразователь
7. – регулятор
8. – эл. двигатель - исполнительный механизм
9. – регулирующий орган - клапан

1

9

2

3

4

5

6

76

86

### **Функциональная схема системы.**

зад.

уст-во

сравн.

уст-во

Регулятор

Исп.

механ

Датчик

Рег.

орган

БДМ

Y

Текущее значение массы 1 кв.м. полотна фиксируется датчиком. Через преобразователь на регулирующий блок подается электрический сигнал. В регулирующем блоке происходит сравнение поступившего сигнала с заданным значением. В результате сравнения полученное отклонение определяет величину управляющего воздействия, которое должно нейтрализовать отклонение. В зависимости от величины и знака управляющего воздействия, управляющий блок формирует воздействие на исполнительный механизм (эл. двигатель).

**Модель системы управления в виде «черного ящика»**

**О.Р.**

Δg(t)

Δf(t)

Δy(t)

Δg(t) [кг/м3] – изменение расхода бумажной массы (задающее воздействие)

Δf(t) [%] - изменение концентрации массы (возмущающее воздействие)

Δy(t) [г/м2] – изменение массы 1кв.м. полотна (выходная переменная)

**Временные характеристики по каналу управления.**

Передаточная функция объекта регулирования.

Wоб(р) = К0



1. коэффициент передачи



1. постоянная времени *Т =50 с*
2. запаздывание информации *τ =120 с*

Это апериодическое звено 1-го порядка с запаздыванием.

Переходная функция *h(t)* определяется как переходной процесс на выходе звена при подаче на его вход единичного ступенчатого воздействия *1[t]* при нулевых начальных условиях. Чтобы получить переходную функцию звена, нужно изменить его входной сигнал на одну единицу. (расход массы на 1кг/с).

X Y

W(p)

*х(t)=1[t]*

Зная,

*x (p)= x L [1(t)]=*



Получаем изображение переходной функции:



Обратное преобразование дает переходную функцию звена первого порядка с запаздыванием:

; % влажности



;



Для расчета переходной функции необходимо приблизительно оценить время окончания переходного процесса. Его можно вычислить по выражению:

*t­пер.пр. ≈ 3 - 4T+τ ≈ 320 c*

Выбираем шаг расчета:

Δt = , N – желаемое количество точек графика;



N=10,

Δt = 32 c

Результаты расчета сведены в Таблицу 1.

Весовая функция W(t) представляет собой переходной процесс на выходе звена на единичную импульсную функцию δ [t] при нулевых начальных условиях. Единичная импульсная функция является производной от единичной ступенчатой функции δ [t] =1′ [t]. Переходная весовая функции связаны соотношением:



Отсюда:

, , т.е.



;



Таблица 1.

Расчет переходной и весовой функции объекта по каналу управления.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| T, c | 0 | 120 | 152 | 184 | 216 | 248 | 280 | 312 | 344 | 376 | 408 | 440 |
| H(t),г/м | 0,0 | 0,0 | 52,943 | 80,860 | 95,580 | 103,34 | 107,43 | 109,593 | 110,731 | 111,331 | 111,647 | 111,81 |
| W(t),г/м | 0,0 | 2,4 | 1,266 | 0,667 | 0,352 | 0,186 | 0,098 | 0,052 | 0,027 | 0,014 | 0,008 | 0,004 |

По данным Таблицы 1 построены графики переходной и весовой функции.

Основные параметры объекта по каналу управления могут быть определены из этих графиков.



τ

#### Т

К0

τ

#### Т



Основные параметры объекта по каналу управления могут быть

## **Частотные характеристики объекта по каналу управления.**

Частотные характеристики описывают установившиеся вынужденные колебания на выходе звена, вызванные гармоническим воздействием на входе.

Выражения частотных характеристик по каналу управления могут быть получены из выражения частотной передаточной функции:

,



где *А(ω) -* АЧХ объекта

*ϕ(ω) -*  ФЧХ объекта

Зависимость отношения амплитуд выходных и входных колебаний от их частоты называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). Зависимость разности фазы выходных и входных колебаний от частоты называется фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) системы.

Найдем модуль частотной передаточной функции (АЧХ):



(1­­­­\*)



Частота Wпр., определяющая полосу частот пропускания объекта, найдется из условия:



, подставляем в (1\*)



, отсюда



Угол фазового сдвига находится как арктангенс отношения мнимой части комплексного числа к вещественной:



С учетом того, что К0=112>0 выражение ФЧХ запишется в виде:



Частотные характеристики будем строить на диапазоне от 0 до 10 ωпр.

###### Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ω,  с-1 | 0 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,1 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,2 |
| АЧХ, | 120,00 | 84,8528 | 53,6656 | 37,9473 | 29,1043 | 23,5339 | 19,7279 | 16,9706 | 14,8842 | 13,2518 | 11,9404 |
| ,  рад. | 0,0000 | 1,6146 | 3,6929 | 5,9510 | 8,2742 | 10,6266 | 12,9944 | 15,3711 | 17,7536 | 20,1399 | 22,5289 |



Из графика АЧХ видно: чем меньше частота входного сигнала, тем больше этот сигнал усиливается. При ω = 0 коэффициент усиления равен максимальному значению 112. При больших частотах выходная величина по модулю стремится к нулю. Такие сигналы объект не пропустит.

С ростом частоты увеличивается также фазовый сдвиг выходных колебаний по отношению к входным. Фазо-частотная характеристика положительна, следовательно, выходные колебания по фазе опережают входные. При ω = ω0 ϕ(ω) = π.



ΔРе

Δy

Δy0

Δy1

ΔОШ

Δg

Δf1



[%конц]

[мА]

[%от.кл.]

[%конц]

[г/м2]

[%конц]

ΔРе

Δxf

Δy1

ΔОШ

Δg

Δf1



Δy

[]



[]



[]



[%от. кл]

[%конц]

### Структурная схема системы регулирования

Структурная схема системы – графическое изображение АСР в виде совокупности динамических звеньев с указанием связей между ними.

Исходными данными для построения схемы служат передаточные функции звеньев.

По составленной схеме определяем передаточные функции системы:

1. Передаточная функция разомкнутой системы:



2.Передаточная функция замкнутой системы по каналу управления:



1. Передаточная функция замкнутой системы по возмущению в виде Δf1



## **Построение области устойчивости системы.**

1. Характеристический полином замкнутой системы получим из выражения:



Отсюда:

*Д(р*) =



2. Уравнение апериодической границы устойчивости соответствует при Р=0.

Получаем:

⇒ *К2* = 0



Найдем колебательную границу устойчивости, для этого подставим:

*Р=jω*



Тогда:



Решив уравнение относительно К1 и К2 , найдем выражение для колебательной границы устойчивости в виде:



Рассчитываем три точки колебательной границы устойчивости при ω=0; Δω; 2Δω.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **ω [c-1]** | 0 | 0,005 | 0,01 |
| **К1,** | 3,434 | 3,3191 | 2,8446 |
| **К2,** | 0 | 0,0132 | 0,0382 |

СТУДЕНТ Ситников С.А. ГРУППА 2102

РАСЧЕТ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ (ЛИНИИ РАВНОГО ЗАПАСА УСТ.) НЕПРЕР.АСР

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЕЙ ИЗВЕСТНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ

МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ПО КАНАЛУ УПРАВЛЕНИЯ :

коэффициент передачи объекта = 112.0000

постоянная времени объекта = 50.0000

запаздывание объекта = 120.0000

Коэф.передачи исполн.устройства = 1.0000

Коэф.передачи регулир.органа = 0.0104

Коэффициент передачи датчика = 0.2500

РАСЧЕТ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ

АПЕРИОДИЧЕСКАЯ ГРАНИЦА УСТОЙЧИВОСТИ K2 = 0

ТАБЛИЦА КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ГРАНИЦЫ УСТОЙЧИВОСТИ

W K1 K2

0.000000 -3.434066 0.000000

0.001538 -3.327219 0.001369

0.003077 -3.011959 0.005329

0.004615 -2.503887 0.011447

0.006154 -1.828233 0.019034

0.007692 -1.018726 0.027196

0.009231 -0.116080 0.034896

0.010769 0.833836 0.041032

0.012308 1.782074 0.044517

0.013846 2.678837 0.044370

0.015385 3.475768 0.039792

0.016923 4.128202 0.030245

0.018462 4.597282 0.015513

0.020000 4.851844 -0.004253

РАСЧЕТ ЛИНИИ РАВНОГО ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ

СТЕПЕНЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ = 0.22

W K1 K2

0.000000 -3.434066 0.000000

0.001538 -2.954172 0.001362

0.003077 -2.334213 0.005027

0.004615 -1.620191 0.010232

0.006154 -0.858793 0.016105

0.007692 -0.095154 0.021747

0.009231 0.629134 0.026307

0.010769 1.277682 0.029049

0.012308 1.820598 0.029409

0.013846 2.235384 0.027029

0.015385 2.507436 0.021783

0.016923 2.630145 0.013783

0.018462 2.604631 0.003363

0.020000 2.439161 -0.008941

Область устойчивости системы в плоскости варьируемых параметров.



Определение направления штриховки колебательной границы устойчивости производится в соответствии со знаком определителя вида.

Δ(ω)= = =



При перемещении вдоль колебательной границы в направлении возрастании частоты от 0 до ∞ кривая штрихуется слева, т. к. Δω > 0. Если частоту менять в пределах от - ∞ до 0 (ω < 0), то определитель меняет знак и, двигаясь вдоль увеличения частоты, нужно штриховать правую часть кривой. Таким образом, кривая колебательной границы проходится дважды, при этом штрихуется одна и та же часть кривой двойной штриховкой. Апериодическая граница устойчивости штрихуется в сторону колебательной границы устойчивости.

Параметры регулятора K1 ; K2, выбранные из области устойчивости системы, обеспечат затухание переходной составляющей её движения при любых начальных отклонениях и внешних воздействиях.

Расчет линии равного запаса устойчивости.

1.Выведем выражение расширенной АФЧХ регулирующего блока Wр.б.(m1jω)

Передаточная функция:

,



Заменим р на (j - m)ω:



Запишем в виде



=, где



- расширенная АЧХ звена



-расширенная ФЧХ звена



Тогда:



2.Выведем выражение расширенной АФЧХ части системы, содержащей остальные элементы в контуре управления.

,



где



Заменим р на



, отсюда



Запишем в виде



Тогда:



Между заданной степенью колебательности m системы и характером расширенных и частотных характеристик с тем же m существует определенная связь. Для нахождения системы на границе заданной степени колебательности *m*, определяющей заданный запас устойчивости, необходимо выполнение следующего соотношения:



или в показательной форме



или



Получили два условия.

Первое условие приводит к уравнению:



Второе условие к уравнению вида:



Решив уравнение относительно К1 и К2 получим:



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 0,005 | 0,01 |
|  | 0 | 0,6 | 1,2 |
|  | 0 | 0,5646 | 0,932 |
|  | 1 | 0,8253 | 0,3642 |
|  | 1 | 1,1411 | 1,3021 |
|  | -0,0089 | -0,0059 | -0,0032 |
|  | 0 | 0 | 0,0001 |

Все значения К1 и К2, лежащие на кривой обеспечат заданные запас устойчивости. Значения К1 и К2, лежащие внутри области, ограниченной данной кривой и осями координат, обеспечат запас больше заданного или степень затухания больше заданной, а лежащие вне этой области – степень затухания меньше заданной. Специальными исследованиями было установлено, что настройки, расположенные чуть правее экстремума линии равного запаса устойчивости, обеспечивают минимум квадратичного интегрального критерия качества, поэтому эти настройки можно назвать оптимальными.

## Получение переходного процесса системы на заданный вид воздействия.

Рассмотрим операторный метод расчета непрерывных систем. Суть метода заключается в том, что каждый элемент непрерывной системы заменяется его дискретным аналогом, для этого вводим в модель непрерывного элемента импульсный элемент.

## Дискретная модель системы.



Δf1

Δg[n]

Δy1[n]

Δxf[n]

ΔРе[n]



Δyc[n]

О б ъ е к т

Д а т ч и к

Р е г у л и р. б л о к

Импульсную модель элемента можно описать разностным уравнением, вид которого определяется формирующим элементом. Самым простым формирующим элементом является экстраполятор нулевого порядка с передаточной функцией вида:

, где Т0 – период дискретности. Тогда дискретная передаточная функция непрерывного элемента найдётся как:



Выбор периода дискретности Т0.

Допустимая погрешность моделирования определяется из условия выбора периода дискретности Т0 = Т/(10 ÷15), где Т – постоянная времени системы, при этом должно выполнятся условие: τ / Т0 > 5 ÷ 10, где τ - запаздывание системы.



Дискретная модель объекта регулирования:

, где ; m = τ/T0 (число тактов запаздывания – целое число).



## Дискретная модель регулятора совместно с регулирующим блоком.



Дискретная модель датчика: Wдат (Z) = Kд = 0.25

## Система разностных уравнений, описывающих работу данной АСР, при переходном процессе.

Так как рассчитываем переходный процесс по задающему воздействию, то полагаем ΔXf = 0; ΔYf = 0.

;



m = τ/T0 = 12 Тактов



1. Уравнение регулируемого параметра:



yc[n] = 0.8yc[n - 1] + 22.4x[n - 13]

1. Уравнение датчика:

y1[n] = Кд⋅yc[n] = 0.25yc[n]

1. Уравнение элемента сравнения:

ОШ[n] = Δg ⋅Кд – y1[n] = 0.375 - y1[n]

1. Уравнение регулирующего воздействия:

X[n] = X[n - 1] + Kр.о. ⋅K1⋅ ОШ[n] + Kр.о. ⋅ (K2 T0 - K1 )⋅ ОШ[n - 1]

X[n] = X[n - 1] + 0.0232 ⋅ ОШ[n] - 2.2316 ⋅ ОШ[n - 1]

Выбираем параметры настройки ПИ регулятора:

K1 = 2.234451

K2 = 0.027039

Отклонение регулируемой величины от установившегося значения должно быть не более 5%. Δ = 0.05 ⋅ | 1.5 | = 0.075

Расчёт переходного процесса системы по задающему воздействию

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **n** | **t** | **Yc[n]** | **Y1[n]** | **ОШ[n]** | **X[n]** |
| -13 | -130 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -12 | -120 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -11 | -110 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -10 | -100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -9 | -90 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -8 | -80 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -7 | -70 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -6 | -60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -5 | -50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -4 | -40 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -3 | -30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -2 | -20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -1 | -10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,375 | 0,008714 |
| 1 | 10 | 0 | 0 | 0,375 | 0,009769 |
| 2 | 20 | 0 | 0 | 0,375 | 0,010823 |
| 3 | 30 | 0 | 0 | 0,375 | 0,011878 |
| 4 | 40 | 0 | 0 | 0,375 | 0,012932 |
| 5 | 50 | 0 | 0 | 0,375 | 0,013987 |
| 6 | 60 | 0 | 0 | 0,375 | 0,015042 |
| 7 | 70 | 0 | 0 | 0,375 | 0,016096 |
| 8 | 80 | 0 | 0 | 0,375 | 0,017151 |
| 9 | 90 | 0 | 0 | 0,375 | 0,018205 |
| 10 | 100 | 0 | 0 | 0,375 | 0,01926 |
| 11 | 110 | 0 | 0 | 0,375 | 0,020314 |
| 12 | 120 | 0 | 0 | 0,375 | 0,021369 |
| 13 | 130 | 0,195197 | 0,048799 | 0,326201 | 0,021289 |
| 14 | 140 | 0,374977 | 0,093744 | 0,281256 | 0,021162 |
| 15 | 150 | 0,542423 | 0,135606 | 0,239394 | 0,020981 |
| 16 | 160 | 0,700002 | 0,175001 | 0,199999 | 0,020738 |
| 17 | 170 | 0,849687 | 0,212422 | 0,162578 | 0,020431 |
| 18 | 180 | 0,993058 | 0,248264 | 0,126736 | 0,020055 |
| 19 | 190 | 1,131376 | 0,282844 | 0,092156 | 0,019608 |
| 20 | 200 | 1,265653 | 0,316413 | 0,058587 | 0,019087 |
| 21 | 210 | 1,396697 | 0,349174 | 0,025826 | 0,018491 |
| 22 | 220 | 1,525154 | 0,381289 | -0,00629 | 0,017817 |
| 23 | 230 | 1,651542 | 0,412885 | -0,03789 | 0,017065 |
| 24 | 240 | 1,776274 | 0,444069 | -0,06907 | 0,016234 |
| 25 | 250 | 1,899682 | 0,474921 | -0,09992 | 0,015323 |
| 26 | 260 | 1,99663 | 0,499157 | -0,12416 | 0,014479 |
| 27 | 270 | 2,071341 | 0,517835 | -0,14284 | 0,013696 |
| 28 | 280 | 2,127036 | 0,531759 | -0,15676 | 0,01297 |
| 29 | 290 | 2,166167 | 0,541542 | -0,16654 | 0,012302 |
| 30 | 300 | 2,190591 | 0,547648 | -0,17265 | 0,011692 |
| **31** | **310** | **2,201715** | **0,550429** | **-0,17543** | **0,011142** |
| 32 | 320 | 2,200597 | 0,550149 | -0,17515 | 0,010655 |
| 33 | 330 | 2,188035 | 0,547009 | -0,17201 | 0,010235 |
| 34 | 340 | 2,164623 | 0,541156 | -0,16616 | 0,009888 |
| 35 | 350 | 2,130803 | 0,532701 | -0,1577 | 0,009617 |
| 36 | 360 | 2,086905 | 0,521726 | -0,14673 | 0,009428 |
| 37 | 370 | 2,033167 | 0,508292 | -0,13329 | 0,009328 |
| 38 | 380 | 1,969768 | 0,492442 | -0,11744 | 0,009321 |
| 39 | 390 | 1,900138 | 0,475034 | -0,10003 | 0,009396 |
| 40 | 400 | 1,826891 | 0,456723 | -0,08172 | 0,00954 |
| 41 | 410 | 1,752048 | 0,438012 | -0,06301 | 0,009745 |
| 42 | 420 | 1,677207 | 0,419302 | -0,0443 | 0,010003 |
| 43 | 430 | 1,603665 | 0,400916 | -0,02592 | 0,010305 |
| 44 | 440 | 1,532508 | 0,383127 | -0,00813 | 0,010646 |
| 45 | 450 | 1,464677 | 0,366169 | 0,008831 | 0,011017 |
| 46 | 460 | 1,401014 | 0,350254 | 0,024746 | 0,011412 |
| 47 | 470 | 1,342296 | 0,335574 | 0,039426 | 0,011822 |
| 48 | 480 | 1,289255 | 0,322314 | 0,052686 | 0,012241 |
| 49 | 490 | 1,242601 | 0,31065 | 0,06435 | 0,01266 |
| 50 | 500 | 1,203028 | 0,300757 | 0,074243 | 0,013071 |
| 51 | 510 | 1,171224 | 0,292806 | 0,082194 | 0,013465 |
| 52 | 520 | 1,147444 | 0,286861 | 0,088139 | 0,013834 |
| 53 | 530 | 1,13165 | 0,282912 | 0,092088 | 0,014174 |
| 54 | 540 | 1,123606 | 0,280901 | 0,094099 | 0,014479 |
| 55 | 550 | 1,122941 | 0,280735 | 0,094265 | 0,014748 |
| 56 | 560 | 1,129188 | 0,282297 | 0,092703 | 0,014977 |
| 57 | 570 | 1,141814 | 0,285453 | 0,089547 | 0,015164 |
| 58 | 580 | 1,160229 | 0,290057 | 0,084943 | 0,015309 |
| 59 | 590 | 1,183802 | 0,29595 | 0,07905 | 0,015411 |
| 60 | 600 | 1,21186 | 0,302965 | 0,072035 | 0,01547 |
| 61 | 610 | 1,243692 | 0,310923 | 0,064077 | 0,015488 |
| 62 | 620 | 1,278548 | 0,319637 | 0,055363 | 0,015466 |
| 63 | 630 | 1,315636 | 0,328909 | 0,046091 | 0,015406 |
| 64 | 640 | 1,354122 | 0,338531 | 0,036469 | 0,015312 |
| 65 | 650 | 1,393183 | 0,348296 | 0,026704 | 0,015187 |
| 66 | 660 | 1,432039 | 0,35801 | 0,01699 | 0,015037 |
| 67 | 670 | 1,469971 | 0,367493 | 0,007507 | 0,014864 |
| 68 | 680 | 1,506331 | 0,376583 | -0,00158 | 0,014674 |
| 69 | 690 | 1,540544 | 0,385136 | -0,01014 | 0,014471 |
| 70 | 700 | 1,572111 | 0,393028 | -0,01803 | 0,014259 |
| 71 | 710 | 1,600609 | 0,400152 | -0,02515 | 0,014043 |
| 72 | 720 | 1,625691 | 0,406423 | -0,03142 | 0,013826 |
| 73 | 730 | 1,647084 | 0,411771 | -0,03677 | 0,013614 |
| 74 | 740 | 1,664594 | 0,416149 | -0,04115 | 0,013408 |
| 75 | 750 | 1,678103 | 0,419526 | -0,04453 | 0,013214 |
| 76 | 760 | 1,687571 | 0,421893 | -0,04689 | 0,013034 |
| 77 | 770 | 1,69304 | 0,42326 | -0,04826 | 0,01287 |
| **78** | **780** | **1,69463** | **0,423658** | **-0,04866** | **0,012725** |
| 79 | 790 | 1,692528 | 0,423132 | -0,04813 | 0,012601 |
| 80 | 800 | 1,68698 | 0,421745 | -0,04675 | 0,012498 |
| 81 | 810 | 1,678283 | 0,419571 | -0,04457 | 0,012417 |
| 82 | 820 | 1,666774 | 0,416693 | -0,04169 | 0,012358 |
| 83 | 830 | 1,65282 | 0,413205 | -0,0382 | 0,012322 |
| 84 | 840 | 1,636813 | 0,409203 | -0,0342 | 0,012308 |
| 85 | 850 | 1,619159 | 0,40479 | -0,02979 | 0,012314 |
| 86 | 860 | 1,600272 | 0,400068 | -0,02507 | 0,01234 |
| 87 | 870 | 1,580568 | 0,395142 | -0,02014 | 0,012384 |
| 88 | 880 | 1,560455 | 0,390114 | -0,01511 | 0,012444 |
| 89 | 890 | 1,540327 | 0,385082 | -0,01008 | 0,012519 |
| 90 | 900 | 1,520559 | 0,38014 | -0,00514 | 0,012605 |
| 91 | 910 | 1,501498 | 0,375375 | -0,00037 | 0,012701 |
| 92 | 920 | 1,483458 | 0,370865 | 0,004135 | 0,012805 |
| 93 | 930 | 1,466716 | 0,366679 | 0,008321 | 0,012914 |
| 94 | 940 | 1,451509 | 0,362877 | 0,012123 | 0,013026 |
| 95 | 950 | 1,438034 | 0,359509 | 0,015491 | 0,013138 |
| 96 | 960 | 1,426443 | 0,356611 | 0,018389 | 0,013249 |
| 97 | 970 | 1,416847 | 0,354212 | 0,020788 | 0,013357 |
| 98 | 980 | 1,409313 | 0,352328 | 0,022672 | 0,013459 |
| 99 | 990 | 1,403867 | 0,350967 | 0,024033 | 0,013554 |
| 100 | 1000 | 1,400495 | 0,350124 | 0,024876 | 0,013641 |
| 101 | 1010 | 1,399146 | 0,349787 | 0,025213 | 0,013719 |
| 102 | 1020 | 1,399735 | 0,349934 | 0,025066 | 0,013787 |
| 103 | 1030 | 1,402142 | 0,350536 | 0,024464 | 0,013843 |
| 104 | 1040 | 1,406225 | 0,351556 | 0,023444 | 0,013888 |
| 105 | 1050 | 1,411816 | 0,352954 | 0,022046 | 0,013922 |
| 106 | 1060 | 1,418727 | 0,354682 | 0,020318 | 0,013943 |
| **107** | **1070** | **1,426759** | **0,35669** | **0,01831** | **0,013954** |
| 108 | 1080 | 1,435702 | 0,358926 | 0,016074 | 0,013953 |
| 109 | 1090 | 1,445341 | 0,361335 | 0,013665 | 0,013943 |
| 110 | 1100 | 1,455459 | 0,363865 | 0,011135 | 0,013922 |
| 111 | 1110 | 1,465843 | 0,366461 | 0,008539 | 0,013893 |
| 112 | 1120 | 1,476287 | 0,369072 | 0,005928 | 0,013857 |
| 113 | 1130 | 1,486595 | 0,371649 | 0,003351 | 0,013813 |
| 114 | 1140 | 1,496584 | 0,374146 | 0,000854 | 0,013765 |
| 115 | 1150 | 1,506087 | 0,376522 | -0,00152 | 0,013712 |
| 116 | 1160 | 1,514955 | 0,378739 | -0,00374 | 0,013656 |
| 117 | 1170 | 1,523059 | 0,380765 | -0,00576 | 0,013599 |
| 118 | 1180 | 1,530292 | 0,382573 | -0,00757 | 0,01354 |
| 119 | 1190 | 1,536567 | 0,384142 | -0,00914 | 0,013483 |
| 120 | 1200 | 1,541822 | 0,385456 | -0,01046 | 0,013426 |
| 121 | 1210 | 1,546016 | 0,386504 | -0,0115 | 0,013373 |
| 122 | 1220 | 1,549129 | 0,387282 | -0,01228 | 0,013322 |
| 123 | 1230 | 1,551164 | 0,387791 | -0,01279 | 0,013276 |
| 124 | 1240 | 1,552142 | 0,388035 | -0,01304 | 0,013234 |
| 125 | 1250 | 1,552103 | 0,388026 | -0,01303 | 0,013198 |
| 126 | 1260 | 1,551104 | 0,387776 | -0,01278 | 0,013167 |
| 127 | 1270 | 1,549216 | 0,387304 | -0,0123 | 0,013142 |
| 128 | 1280 | 1,546522 | 0,386631 | -0,01163 | 0,013123 |
| 129 | 1290 | 1,543118 | 0,385779 | -0,01078 | 0,01311 |
| 130 | 1300 | 1,539104 | 0,384776 | -0,00978 | 0,013103 |
| 131 | 1310 | 1,534589 | 0,383647 | -0,00865 | 0,013102 |
| 132 | 1320 | 1,529683 | 0,382421 | -0,00742 | 0,013106 |
| 133 | 1330 | 1,524499 | 0,381125 | -0,00612 | 0,013115 |
| 134 | 1340 | 1,519147 | 0,379787 | -0,00479 | 0,013129 |
| 135 | 1350 | 1,513735 | 0,378434 | -0,00343 | 0,013147 |
| 136 | 1360 | 1,508368 | 0,377092 | -0,00209 | 0,013169 |
| 137 | 1370 | 1,503141 | 0,375785 | -0,00079 | 0,013193 |
| 138 | 1380 | 1,498143 | 0,374536 | 0,000464 | 0,01322 |
| 139 | 1390 | 1,493454 | 0,373364 | 0,001636 | 0,013249 |
| 140 | 1400 | 1,489144 | 0,372286 | 0,002714 | 0,013278 |
| 141 | 1410 | 1,485272 | 0,371318 | 0,003682 | 0,013308 |
| 142 | 1420 | 1,481884 | 0,370471 | 0,004529 | 0,013338 |
| 143 | 1430 | 1,479017 | 0,369754 | 0,005246 | 0,013368 |
| 144 | 1440 | 1,476696 | 0,369174 | 0,005826 | 0,013396 |
| 145 | 1450 | 1,474932 | 0,368733 | 0,006267 | 0,013423 |
| 146 | 1460 | 1,473728 | 0,368432 | 0,006568 | 0,013447 |
| 147 | 1470 | 1,473076 | 0,368269 | 0,006731 | 0,013469 |
| 148 | 1480 | 1,472957 | 0,368239 | 0,006761 | 0,013489 |
| 149 | 1490 | 1,473344 | 0,368336 | 0,006664 | 0,013506 |
| 150 | 1500 | 1,474201 | 0,36855 | 0,00645 | 0,01352 |
| 151 | 1510 | 1,475489 | 0,368872 | 0,006128 | 0,01353 |
| 152 | 1520 | 1,477158 | 0,369289 | 0,005711 | 0,013538 |
| 153 | 1530 | 1,479157 | 0,369789 | 0,005211 | 0,013542 |
| 154 | 1540 | 1,481431 | 0,370358 | 0,004642 | 0,013544 |
| 155 | 1550 | 1,483924 | 0,370981 | 0,004019 | 0,013542 |
| 156 | 1560 | 1,486576 | 0,371644 | 0,003356 | 0,013538 |
| 157 | 1570 | 1,48933 | 0,372332 | 0,002668 | 0,013532 |
| 158 | 1580 | 1,49213 | 0,373032 | 0,001968 | 0,013523 |
| 159 | 1590 | 1,494921 | 0,37373 | 0,00127 | 0,013512 |
| 160 | 1600 | 1,497653 | 0,374413 | 0,000587 | 0,0135 |
| 161 | 1610 | 1,500278 | 0,375069 | -6,9E-05 | 0,013486 |
| 162 | 1620 | 1,502753 | 0,375688 | -0,00069 | 0,013472 |
| 163 | 1630 | 1,505042 | 0,37626 | -0,00126 | 0,013456 |
| 164 | 1640 | 1,507111 | 0,376778 | -0,00178 | 0,013441 |
| 165 | 1650 | 1,508936 | 0,377234 | -0,00223 | 0,013425 |
| 166 | 1660 | 1,510495 | 0,377624 | -0,00262 | 0,01341 |
| 167 | 1670 | 1,511775 | 0,377944 | -0,00294 | 0,013395 |
| 168 | 1680 | 1,512766 | 0,378192 | -0,00319 | 0,013381 |
| 169 | 1690 | 1,513468 | 0,378367 | -0,00337 | 0,013368 |
| 170 | 1700 | 1,513882 | 0,37847 | -0,00347 | 0,013356 |
| 171 | 1710 | 1,514017 | 0,378504 | -0,0035 | 0,013346 |

СТУДЕНТ Ситников С.А. ГРУППА 2102

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ АСР ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ПО КАНАЛУ УПРАВЛЕНИЯ :

коэффициент передачи объекта = 112.0000

постоянная времени объекта = 50.0000

запаздывание объекта = 120.0000

Коэф.передачи исполн.устройства = 1.0000

Коэф.передачи регулир.органа = 0.0104

Коэффициент передачи датчика = 0.2500

ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС ПО ЗАДАЮЩЕМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Изменение задающего воздействия = 1.5000

ПИ - закон регулирования

Параметры закона регулирования :

Пропорциональная составляющая K1 = 2.2345

Интегральная составляющая K2 = 0.0270

Дискретность счета переходного процесса = 10.0000

ВРЕМЯ ЗАДАНИЕ РЕГ ОРГАН СИСТЕМА Ср.Квад.Ош.

160.0000000 1.5000000 0.0210865 0.6510940 0.1252132

170.0000000 1.5000000 0.0208436 0.7956272 0.1199796

180.0000000 1.5000000 0.0205269 0.9353699 0.1147136

190.0000000 1.5000000 0.0201348 1.0711906 0.1095526

200.0000000 1.5000000 0.0196659 1.2038003 0.1045969

210.0000000 1.5000000 0.0191190 1.3337810 0.0999210

220.0000000 1.5000000 0.0184932 1.4616092 0.0955806

230.0000000 1.5000000 0.0177878 1.5876752 0.0916181

240.0000000 1.5000000 0.0170022 1.7122984 0.0880660

250.0000000 1.5000000 0.0161358 1.8357403 0.0849498

260.0000000 1.5000000 0.0153094 1.9373479 0.0822463

270.0000000 1.5000000 0.0145229 2.0198114 0.0799121

280.0000000 1.5000000 0.0137772 2.0852575 0.0778947

290.0000000 1.5000000 0.0130747 2.1353655 0.0761392

300.0000000 1.5000000 0.0124183 2.1714592 0.0745921

310.0000000 1.5000000 0.0118120 2.1945815 0.0732034

320.0000000 1.5000000 0.0112599 2.2055516 0.0719279

330.0000000 1.5000000 0.0107670 2.2050126 0.0707261

340.0000000 1.5000000 0.0103385 2.1934679 0.0695641

350.0000000 1.5000000 0.0099797 2.1713114 0.0684141

360.0000000 1.5000000 0.0096963 2.1388500 0.0672545

370.0000000 1.5000000 0.0094943 2.0963225 0.0660695

380.0000000 1.5000000 0.0093795 2.0439143 0.0648495

390.0000000 1.5000000 0.0093439 1.9842299 0.0635947

400.0000000 1.5000000 0.0093801 1.9193960 0.0623117

410.0000000 1.5000000 0.0094816 1.8511763 0.0610116

420.0000000 1.5000000 0.0096421 1.7810594 0.0597076

430.0000000 1.5000000 0.0098554 1.7103270 0.0584134

440.0000000 1.5000000 0.0101155 1.6401055 0.0571426

450.0000000 1.5000000 0.0104161 1.5714055 0.0559073

460.0000000 1.5000000 0.0107508 1.5051522 0.0547178

470.0000000 1.5000000 0.0111129 1.4422078 0.0535822

480.0000000 1.5000000 0.0114952 1.3833890 0.0525060

490.0000000 1.5000000 0.0118904 1.3294795 0.0514923

500.0000000 1.5000000 0.0122905 1.2812400 0.0505413

510.0000000 1.5000000 0.0126873 1.2394150 0.0496509

520.0000000 1.5000000 0.0130736 1.2044481 0.0488171

530.0000000 1.5000000 0.0134435 1.1765553 0.0480342

540.0000000 1.5000000 0.0137915 1.1557790 0.0472955

550.0000000 1.5000000 0.0141134 1.1420267 0.0465939

560.0000000 1.5000000 0.0144053 1.1350983 0.0459225

570.0000000 1.5000000 0.0146642 1.1347064 0.0452745

580.0000000 1.5000000 0.0148874 1.1404887 0.0446441

590.0000000 1.5000000 0.0150731 1.1520182 0.0440261

600.0000000 1.5000000 0.0152202 1.1688082 0.0434168

610.0000000 1.5000000 0.0153281 1.1903172 0.0428132

620.0000000 1.5000000 0.0153969 1.2159499 0.0422137

630.0000000 1.5000000 0.0154275 1.2450597 0.0416176

640.0000000 1.5000000 0.0154214 1.2769482 0.0410251

650.0000000 1.5000000 0.0153810 1.3108999 0.0404374

660.0000000 1.5000000 0.0153088 1.3462052 0.0398559

670.0000000 1.5000000 0.0152080 1.3821778 0.0392826

680.0000000 1.5000000 0.0150817 1.4181646 0.0387193

690.0000000 1.5000000 0.0149337 1.4535546 0.0381681

700.0000000 1.5000000 0.0147675 1.4877838 0.0376307

710.0000000 1.5000000 0.0145869 1.5203400 0.0371084

720.0000000 1.5000000 0.0143958 1.5507661 0.0366022

730.0000000 1.5000000 0.0141981 1.5786632 0.0361128

740.0000000 1.5000000 0.0139974 1.6036936 0.0356403

750.0000000 1.5000000 0.0137973 1.6255834 0.0351843

760.0000000 1.5000000 0.0136013 1.6441261 0.0347442

770.0000000 1.5000000 0.0134125 1.6591849 0.0343191

780.0000000 1.5000000 0.0132337 1.6706932 0.0339077

790.0000000 1.5000000 0.0130675 1.6786501 0.0335088

800.0000000 1.5000000 0.0129159 1.6831170 0.0331210

810.0000000 1.5000000 0.0127808 1.6842113 0.0327430

820.0000000 1.5000000 0.0126636 1.6821010 0.0323734

830.0000000 1.5000000 0.0125652 1.6769990 0.0320113

840.0000000 1.5000000 0.0124864 1.6691563 0.0316558

850.0000000 1.5000000 0.0124273 1.6588563 0.0313060

860.0000000 1.5000000 0.0123879 1.6464083 0.0309616

870.0000000 1.5000000 0.0123679 1.6321418 0.0306222

880.0000000 1.5000000 0.0123664 1.6163996 0.0302876

890.0000000 1.5000000 0.0123826 1.5995315 0.0299579

900.0000000 1.5000000 0.0124151 1.5818878 0.0296333

910.0000000 1.5000000 0.0124626 1.5638131 0.0293140

920.0000000 1.5000000 0.0125233 1.5456400 0.0290002

930.0000000 1.5000000 0.0125955 1.5276845 0.0286922

940.0000000 1.5000000 0.0126774 1.5102410 0.0283902

950.0000000 1.5000000 0.0127670 1.4935793 0.0280945

960.0000000 1.5000000 0.0128624 1.4779404 0.0278052

970.0000000 1.5000000 0.0129615 1.4635353 0.0275223

980.0000000 1.5000000 0.0130627 1.4505419 0.0272459

990.0000000 1.5000000 0.0131639 1.4391047 0.0269757

1000.0000000 1.5000000 0.0132635 1.4293337 0.0267117

1010.0000000 1.5000000 0.0133598 1.4213046 0.0264537

1020.0000000 1.5000000 0.0134514 1.4150592 0.0262012

1030.0000000 1.5000000 0.0135370 1.4106063 0.0259541

1040.0000000 1.5000000 0.0136154 1.4079236 0.0257119

1050.0000000 1.5000000 0.0136857 1.4069599 0.0254745

ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС ПО ВОЗМУЩЕНИЮ НА ВЫХОДЕ ОБЪЕКТА

Канал передачи возмущения - апериодическое звено 1 порядка

ПАРАМЕТРЫ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ВОЗМУЩЕНИЯ

Коэффициент передачи канала возмущения = 1.1000

Постоянная времени канала возмущения = 60.0000

Возмущение ступенчатое

Значение возмущения = -3.0000

Дискретность счета переходного процесса = 10.0000

ВРЕМЯ ВОЗМ YF ОБЪЕКТ СИСТЕМА Ср.Квад.Ош.

0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000

30.000000 -1.298449 0.000000 -1.298449 0.044026

60.000000 -2.085998 0.000000 -2.085998 0.118114

90.000000 -2.563671 0.000000 -2.563671 0.192940

120.000000 -2.853394 0.000000 -2.853394 0.258957

150.000000 -3.029119 0.166485 -2.862634 0.309076

180.000000 -3.135703 0.677008 -2.458695 0.327872

210.000000 -3.200349 1.349803 -1.850546 0.319704

240.000000 -3.239558 2.095556 -1.144002 0.295999

270.000000 -3.263340 2.864540 -0.398801 0.267365

300.000000 -3.277765 3.543583 0.265818 0.241694

330.000000 -3.286514 4.047102 0.760588 0.222506

360.000000 -3.291820 4.348739 1.056918 0.209291

390.000000 -3.295039 4.444880 1.149841 0.199622

420.000000 -3.296991 4.350097 1.053106 0.190957

450.000000 -3.298175 4.112383 0.814208 0.181841

480.000000 -3.298893 3.791970 0.493077 0.172135

510.000000 -3.299329 3.447541 0.148213 0.162485

540.000000 -3.299593 3.132691 -0.166902 0.153660

570.000000 -3.299753 2.889637 -0.410116 0.146089

600.000000 -3.299850 2.742393 -0.557457 0.139726

630.000000 -3.299909 2.697175 -0.602735 0.134214

660.000000 -3.299945 2.745037 -0.554908 0.129137

690.000000 -3.299967 2.864856 -0.435111 0.124222

720.000000 -3.299980 3.028208 -0.271771 0.119399

750.000000 -3.299988 3.204946 -0.095042 0.114750

780.000000 -3.299993 3.367705 0.067713 0.110398

810.000000 -3.299996 3.495293 0.195298 0.106417

840.000000 -3.299997 3.574872 0.274874 0.102802

870.000000 -3.299999 3.602518 0.302519 0.099485

900.000000 -3.299999 3.582358 0.282359 0.096382

930.000000 -3.299999 3.524734 0.224735 0.093427

960.000000 -3.300000 3.443767 0.143768 0.090596

990.000000 -3.300000 3.354732 0.054732 0.087893

1020.000000 -3.300000 3.271678 -0.028322 0.085333

1050.000000 -3.300000 3.205611 -0.094388 0.082929

1080.000000 -3.300000 3.163383 -0.136617 0.080673

1110.000000 -3.300000 3.147352 -0.152648 0.078549

1140.000000 -3.300000 3.155744 -0.144256 0.076536

1170.000000 -3.300000 3.183554 -0.116446 0.074616

## Определение показателей качества системы регулирования.

Оценку качества работы системы можно получить, анализируя кривую переходного процесса системы на заданный вид воздействия.

**По задающему воздействию:**

1. *Точность системы управления в установившемся режиме работы.*

Этот показатель оценивается величиной установившейся ошибки: ОШ∞ - точность, с которой поддерживается постоянство регулируемого параметра, определятся как разность между установившимся значением регулируемой величины после окончания переходного процесса y∞ и её заданным значением gзад, т.е. ОШ∞ = y∞ - gзад Из графика видно, что

y∞ = gзад = 1.5. это значит, что величина установившейся ошибки ОШ∞ = 0, т.е. полученная система не имеет систематической ошибки, сигнал на выходе системы, в установившемся режиме, равен сигналу задания.

1. *Оценка быстродействия системы.*

Быстродействие системы оценивается по времени переходного процесса, от момента начала воздействия до момента времени, после которого верно неравенство: | y(t) - y∞ | ≤ Δ, где Δ = (0.05 • y∞ ).

По графику переходного процесса найдём tп.пр. = 1070с ≈ 18 мин.

Длительность переходного процесса велика.

1. *Запас устойчивости (склонность системы к колебательности).*

а). перерегулирование – максимальное отклонение регулируемой переменной от установившегося значения.



Величина δ - велика, (допускается 10 ÷ 30 %).

б). затухание за период.



Затухание в допустимых пределах.

в). число колебаний за время переходного процесса – 2.

**По возмущающему воздействию:**

*1.**Оценка быстродействия системы.*

Быстродействие системы оценивается по времени переходного процесса, от момента начала воздействия до момента времени, после которого верно неравенство: | y(t) - y∞ | ≤ Δ, где Δ = (0.05 • y∞ ).

По графику переходного процесса найдём tп.пр. = 700с ≈ 11 мин.

*2. Запас устойчивости (склонность системы к колебательности).*

а). перерегулирование – максимальное отклонение регулируемой переменной от установившегося значения.



Величина δ - хороший показатель, (допускается 10 ÷ 30 %).

б). затухание за период.



Затухание в допустимых пределах.

в). число колебаний за время переходного процесса – 1.

Анализ полученных результатов

Получили систему управления не обладающую статической ошибкой, имеющую хороший запас устойчивости, лежащий в пределах общетехнических нормативов.

За счёт снижения точности работы системы в установившемся режиме до допустимого значения можно несколько повысить запас устойчивости, выбрав другие настройки ПИ-регулятора.

Для выполнения более высоких требований к качеству переходного процесса можно ввести в систему дополнительно специальные корректирующие звенья с особо подобранной передаточной функцией, заменить регулятор с ПИ-законом регулирования на более сложный регулятор с ПИД-законом регулирования

