

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Краснодарского края

«КРАСНОДАРСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

Учебно-методический кабинет

Попова Е.П.

Методическое пособие по выполнению курсового проекта по МДК 01.03
«Теоретические основы контроля и анализа функционирования САУ»
для обучающихся по специальности
15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств

2020

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
по учебной работе

« ____ » _____ 2020 г.

_____ И.В. Костюченко

ОДОБРЕНО
на заседании педагогического совета
колледжа

Протокол от « ____ » _____ 2020 г. № _____

Секретарь _____ Н.В. Ищенко

РАССМОТРЕНО
цикловой комиссией преподавателей
по специальности 15.02.07;13.02.11

Протокол от « ____ » _____ 2020 г. № _____

Председатель
комиссии _____ Е.П.Попова

Организация-разработчик: государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение Краснодарского края «Краснодарский технический колледж» (ГБПОУ КК КТК)

Методические указания разработаны в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 Контроль и метрологическое обеспечение систем автоматизации, на основе федерального государственного образовательного стандарта по специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям), укрупненная группа специальностей 15.00.00 Машиностроение (приказ Минобрнауки России от 18.04.2014 г. № 349, зарегистрирован в Минюст России от 11.06.2014 г. № 32681); профессионального стандарта Слесарь-наладчик контрольно-измерительных приборов и автоматики (регистрационный номер 275, приказ Минтруда России от 25.12.2014 г. № 1117н, зарегистрирован в Минюст России от 03.02.2015 г. № 35650).

Разработчик:

Попова Е.П., преподаватель ГБПОУ КК КТК

(подпись)

Содержание

- 1 Общие положения
- 2 Состав и оформление курсового проекта
- 3 Требования к оформлению текстовой части проекта
- 4 Методические указания по расчету АСР
- 5 Список рекомендуемой литературы

1 Общие положения

Курсовой проект является заключительным этапом в изучении МДК 01.03 «Теоретические основы контроля и анализа функционирования систем автоматического управления» и состоит из графических материалов и расчетно-пояснительной записки, должен быть выполнен в соответствии с требованиями действующих стандартов.

Курсовое проектирование способствует развитию у студента способности к самостоятельной работе относительно конкретной АСР в полном объеме (т.е. расчет устойчивости, выбор закона регулирования, определение оптимальных настроечных параметров регулятора, выбор промышленных приборов для данной АСР).

Цель курсового проектирования – ознакомление учащихся с методами анализа, синтеза и наладки АСР.

Задание на курсовое проектирование выдается преподавателем на специальном бланке. (Приложение А).

2 Состав и оформление курсового проекта

Курсовой проект состоит из текстовой и графической части. Объем текстовой части 35-40 страниц, графической – 2 листа необходимого формата.

Пояснительная записка содержит следующие разделы:

Введение

1 Теоретическая часть

2 Проверка устойчивости заданной АСР

2.1 Определение области устойчивости заданной АСР

2.1 Определение области апериодической устойчивости заданной АСР

2.3 Проверка устойчивости заданной АСР по критерию Гурвица

2.4 Проверка устойчивости заданной АСР по критерию Михайлова

2.5 Проверка устойчивости заданной АСР по критерию Найквиста

3 Выбор и настройка регулятора

3.1 Выбор закона регулирования для объекта по заданной кривой разгона

3.1 Определение оптимальных значений настроек регулятора

4 Построение АСР при помощи промышленных средств регулирования

4.1 Схема автоматизации технологического процесса. Основные понятия и определения

4.2 Выбор и обоснование выбора приборов и средств автоматизации

4.3 Краткое описание и технические характеристики выбранных средств управления

Заключение

Список литературы

В разделе «Введение» отражаются основные направления развития теории автоматического управления.

В теоретическом разделе приводятся основные понятия и определения, задачи теории автоматического регулирования. Дается описание структурной схемы АСР, назначение ее основных элементов и принципа работы. В этом же разделе дается определение устойчивости, основные понятия и определения.

В разделе 2 «Проверка устойчивости заданной АСР» производятся необходимые расчеты по определению области устойчивости, области апериодической устойчивости заданной АСР, проверка устойчивости АСР по критериям Гурвица и Михайлова. Подробно расчет приведен в разделе «Методические указания по расчету АСР»

В разделе 3 «Выбор и настройка регулятора» производится выбор регулятора и расчет их оптимальной настройки. Эта задача является наиболее ответственной и сложной при автоматизации промышленных объектов и решаются на основе всестороннего изучения статики и динамики объектов регулирования.

При выборе руководствуются следующими требованиями: АСР должна быть устойчивой и обеспечивать надлежащее качество регулирования; необходимо обеспечить эксплуатационную надежность, минимальную стоимость и экономическую эффективность.

При выборе энергоносителя следует учитывать достоинства и недостатки, присущие различным видам регуляторов.

Главной задачей при выборе регуляторов в процессе выполнения курсового проекта является выбор регулятора, свойства которого в сочетании со свойствами регулируемого объекта обеспечили бы устойчивую систему с заданным качеством регулирования, т.е. обоснованный выбор закона регулирующего воздействия: пропорционального (П), интегрального (И), пропорционально-интегрального (ПИ), пропорционально-дифференциального (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД).

Затем выбранный закон регулирования необходимо описать: привести структурную схему регулятора, уравнения, характеристики, назвать и дать определения параметров настройки, перечислить достоинства и недостатки.

В разделе 3 «Построение АСР с использованием промышленных средств управления для заданного регулируемого объекта» необходимо описать принципы построения одноконтурной АСР, обосновать выбор используемых средств автоматизации и привести их технические характеристики.

Целью этого задания является построение некоторой одноконтурной АСР, в которой не конкретизирован регулируемый объект, а называется лишь регулируемая величина этого объекта и не указывается ее заданное значение. Это упрощает задачу выбора датчика регулируемой величины и регулирующего органа. Не приводятся сведения о статических и динамических свойствах регулируемого объекта и требования к качеству регулирования, поэтому здесь не

ставится задача выбора закона регулирования и определения настроечных параметров регулятора.

Спроектированная АСР должна обеспечить заданный алгоритм функционирования (стабилизирующая, программная, следящая), следовательно надо правильно выбрать тип задатчика с заданным выходным сигналом, представить схему и описать ее. Сигналы от датчика и задатчика должны быть согласованы с входом регулирующего устройства.

Пусковое устройство и исполнительный механизм так же должны быть согласованы с входом регулирующего устройства. Все звенья входящие в проектируемую АСР выбираются в соответствии с функциональной схемой АСР, которая должна быть представлена и описана. Устройства входящие в контур АСР выбираются из справочников и учебников.

Спроектированная АСР не будет оптимальной, она будет заданной, но должна быть работоспособной и стремиться привести текущее значение к заданному.

В «заключении» подводится итог выполненной работы.

Графическая часть проекта выполняется на листах формата А2 и состоит из :

Лист 1. Характеристики анализируемой АСР.

Лист 2.Схемы промышленной АСР

На листе1 « Характеристики анализируемой АСР » изображают :
типовой переходный процесс регулирования, область устойчивости,
область апериодической устойчивости,график Михайлова для заданной АСР.

Все характеристики строятся на основании данных полученных в результате расчетов.

На листе 2 «Схемы промышленной АСР» выполняют : структурную схему ,
схему автоматизации (выполняется в соответствии с ГОСТ 21.404-85)
заданного контура регулирования ,перечень выбранных средств автоматизации.

3 Требования к оформлению текстовой части проекта

Подлинники текстовых документов выполняются одним из следующих способов:

-машинописным, при этом шрифт должен быть четким, высотой не менее 2,5 мм, лента черного цвета

-рукописным_ чертежным шрифтом по ГОСТ 13.1.002 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Цифры и буквы необходимо писать четко черной пастой.

Вписывать в текстовые документы, изготовленные машинописным способом отдельные слова, формулы, условные знаки (рукописным способом), а также выполнять иллюстрации следует черными чернилами, пастой или тушью.

Расстояние от рамки формы до границ текста вначале и в конце строк – не менее 3мм расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10мм

Абзацы в тексте начинают отступом 15-17мм от рамки

Опечатки описки допускается исправлять закрашиванием белой краской и нанесением на том месте исправленного текста.

Текст документа при необходимости разделяют на разделы и подразделы

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацевого отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Расстояние между заголовком и текстом 15мм. Расстояние между заголовками раздела и подраздела 10мм.

В документе помещают содержание включающие номера и наименование разделов и подразделов с указанием номеров листов. Слово «содержание» записывают в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Наименование, включенное в содержание, записывают строчными буквами начиная с прописной.

В конце текстового документа приводят список литературы, которая была использована при его составлении. Список литературы включают в содержание документа.

Нумерация страниц документа и приложений, входящий в состав этого документа должна быть сквозная.

Пояснение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой они приведены формуле. Первая строка в пояснении должна начинаться «где» без двоеточия после него.

Формулы должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Допускается нумерация формул в пределах раздела.

Иллюстрации могут быть расположены как по тексту документа, так и в конце его. Иллюстрации при необходимости могут иметь наименования и пояснительные данные. Слово рисунок и наименование помещают после пояснительных данных и располагают следующим образом: Рисунок 1 – Детали прибора .

Приложения стоит начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «приложение». Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А.

Построение таблиц

Название следует помещать над таблицей. При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией.

Заголовки следует писать с прописной буквы.

Таблицы слева, справа и снизу, как правило, ограничивают линиями.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8мм.

Если в конце страницы таблица прерывается, её продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят. Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями «Продолжение таблицы» с указанием номера.

4 Методические указания по расчету АСР

Замкнутая АСР состоит (см.рис.1) из последовательно включенных: регулятора с передаточной функцией $W_P(p)$, исполнительного механизма(сервомотора) $W_C(p)$ и объекта регулирования $W_O(p)$, охваченных главной отрицательной обратной связью, в цепь которой включен датчик (измеритель) регулируемой величины $W_H(p)$.

На входе замкнутой АСР задание регулятору (сигнал от датчика) γ_3 , на выходе – регулируемая величина γ (текущее значение).

В элементе (схеме, устройстве) сравнения ЭС формируется сигнал ошибки (разбаланса, рассогласования). $\Delta\varphi = \varphi_3 - \varphi$. В регуляторе этот сигнал усиливается, преобразуется по одному из математических закон регулирования и формируется сигнал (команда), поступающий на сервомотор (исполнительный механизм). Выходное звено последнее (вал, шток, кулачек, шкив и т.д.) механически связан с затвором регулирующего органа (клапана, шибер, заслонки и т.д.), осуществляется регулирующее воздействие на объект.

В регулируемом объекте сравнивается два воздействия – воздействие регулятора μ и воздействие потребителя λ . Если $\mu = \lambda$, то в объекте соблюдается материальный и (или) энергетический баланс и тогда регулируемая величина принимает фиксированное значение. С изменением μ или λ происходит изменение регулируемой величины, вызывающее переходный процесс в замкнутой АСР, который делится (в устойчивой АСР) до тех пор, пока регулируемая величина не установится на новом, близком к заданию значению (в статической АСР).

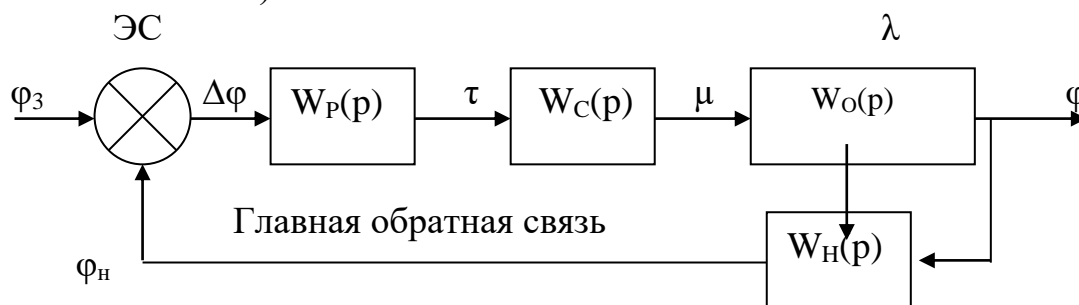


Рисунок1- Структурная схема замкнутой АСР.

Для успешного выполнения расчетов следует обратить особое внимание на математическое описание звеньев и систем автоматического регулирования, структурные схемы, передаточные функции и характеристические уравнения разомкнутых и замкнутых систем, критерии устойчивости и оценку качества регулирования.

Свойства звеньев, составляющих АСР (АСУ) считаются известными, если известны их передаточные функции или дифференциальные уравнения. Методику выполнения расчетной части контрольного задания рассмотрим с использованием конкретного примера.

Пусть нам известны передаточные функции:

регулятора $W_P(p) = K_p + \frac{K_I}{T_I p}$

исполнительного механизма $W_C(p) = \frac{K_2}{T_1 p + 1}$

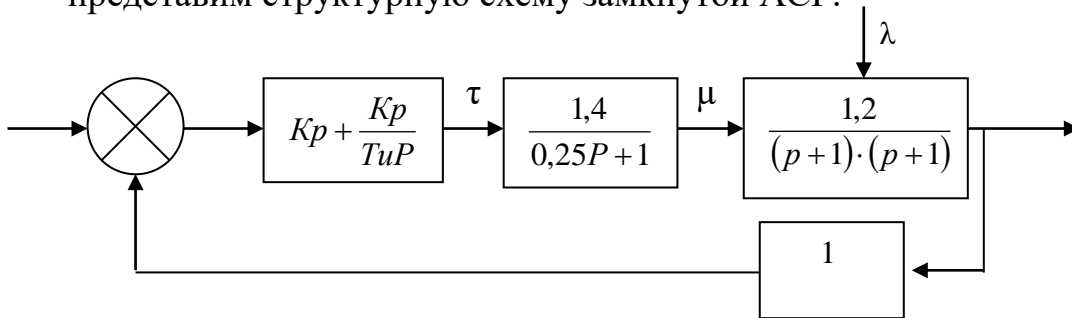
регулируемого объекта $W_0(p) = \frac{K_2}{(T_2 p + 1) \cdot (T_3 p + 1)}$

измерителя $W_H(p) = 1$ и значения коэффициентов:

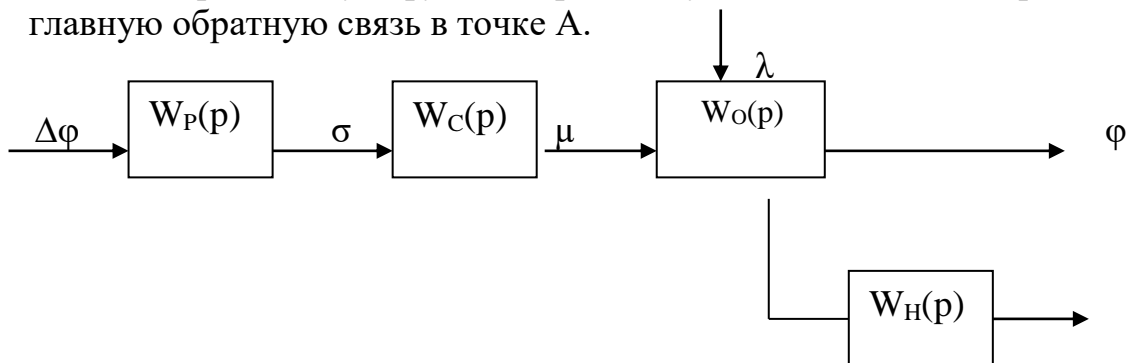
$K_1 = 1,4$; $K_2 = 1,2$; $T_1 = 0,25$; $T_2 = 1$; $T_3 = 1$;

где: P – оператор Лапласа.

- Используя данные передаточные функции и значения коэффициентов, представим структурную схему замкнутой АСР.



- Найдем передаточную функцию разомкнутой АСР, для этого разомкнем главную обратную связь в точке А.



Из структурной схемы АСР находим

$$W'(p) = W_P(p) \cdot W_C(p) \cdot W_0(p) = \frac{\varphi(p)}{\Delta\varphi(p)}$$

$$W(p) = W'(p) \cdot W_H(p) = \frac{\varphi_H(p)}{\Delta\varphi(p)} \quad (1)$$

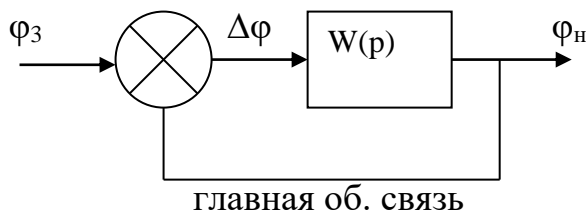
где: φ – регулируемая величина

φ_H – сигнал от датчика регулируемой величины (сигнал обратной связи).

В нашем случае (при $W_H(p) = 1$)

$$W(p) = W'(p) = \left(K_p + \frac{K_p}{T_{up}} \right) \cdot \frac{1,4 \cdot 1,2}{(0,25+1) \cdot (P+1) \cdot (P+1)} = \frac{1,68 \cdot K_p \cdot T_{up} P + 1,68 \cdot K_p}{0,25 \cdot T_{up} p^4 + 1,5 \cdot T_{up} p^3 + 2,25 \cdot T_{up} p^2 + T_{up} P} \quad (1^1)$$

Эквивалентную схему, изображенную на рис.1 структурную схему замкнутой АСР можно теперь представить так:



Величина ϕ в структурной схеме опущена, так как используется лишь для наблюдения за происходящими процессами в объекте.

3. Найдем передаточную функцию замкнутой АСР по регулирующему воздействию $\Phi(p)$

$$\Phi(p) = \frac{W_p}{1 + W_p}; \quad (2)$$

Передаточную функцию (1) можно записать в виде отношения полиномов числителя и знаменателя

$$W(p) = \frac{N}{M(p)} \quad (3)$$

$$\text{Подставим (3) в (2) и найдем } \Phi(p) = \frac{N(p)}{N(p) + M(p)} \quad (4)$$

Передаточная функция (4) упрощает переход от передаточной функции разомкнутой АСР к передаточной функции замкнутой АСР.

В нашем примере:

$$\Phi(p) = \frac{1,68 \cdot K_p \cdot T_{up} + 1,68 \cdot K_p}{\left(0,25 \cdot T_{up} p^4 + 1,5 \cdot T_{up} p^3 + 2,25 \cdot T_{up} p^2 + T_{up} \right) + (1,68 K_p \cdot T_{up} + 1,68 \cdot K_p)}$$

$$\Phi(p) = \frac{1,68 K_p \cdot T_{up} + 1,68 K_p}{0,25 T_{up} p^4 + 1,5 T_{up} p^3 + 2,25 T_{up} p^2 + (1 + 1,68 K_p) \cdot T_{up} + 1,68 K_p} \quad (4^1)$$

Обозначим: $v_0 = 1,68 K_p \cdot T_{up}$

$$v_1 = 1,68 K_p$$

$$a_0 = 0,25 T_{up};$$

$$a_1 = 1,5 T_{up};$$

$$a_2 = 2,25 T_{up};$$

$$a_3 = (1 + 1,68 K_p) \cdot T_{up};$$

$$a_4 = 1,68 K_p$$

Передаточную функцию (4¹) представим в виде:

$$\Phi(p) = \frac{v_0 p + v_1}{a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4} \quad (4^{11})$$

где: $v_0, v_1, a_0 \dots a_4$ – коэффициенты передаточной функции замкнутой АСР.

4. Напишем, характеристическое уравнение замкнутой АСР приняв, к нулю знаменатель передаточной функции замкнутой АСР.

$$0,25 T_{up} p^4 + 1,5 T_{up} p^3 + 2,25 T_{up} p^2 + (1 + 1,68 K_p) \cdot T_{up} + 1,68 \cdot K_p = 0 \quad (5)$$

5. Найти область параметров настройки регулятора (коэффициента передачи K_p и времени интегрирования T_i), при которых система регулирования будет устойчива.

Из коэффициентов характеристического уравнения (5)

$$a_0 \cdot p^4 + a_1 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p + a_4 = 0 \quad (5^1)$$

составим определитель Гурвица

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} \quad (6)$$

При $a_0 > 0$ должны выполняться условия:

$$\Delta_1 = a_1 > 0 \quad \Delta_2 = (a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3) > 0$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0;$$

Границами устойчивости будут:

$$a_0 = 0; \quad a_4 = 0; \quad \Delta_3 = 0; \quad \text{для взятого нами параметра:}$$

$$a_0 = 0,25 \quad T_i \geq 0; \quad \text{отсюда } T_i \geq 0$$

$$\Delta_2 = [1,5 \cdot T_i \cdot 2,25 \cdot T_i - 0,25 \cdot T_i(1 + 1,68K_p) \cdot T_i] \geq 0;$$

Отсюда $K_p \leq 7,4$

$$\Delta_3 = a_3 \Delta_2 - a_4 \cdot a_1^2$$

$$\Delta_3 = a_3 \cdot (a_1 \cdot a_2 - a_3 \cdot a_0) - a_4 \cdot a_1^2 \geq 0$$

Подставив значения $a_0 \dots a_4$ и решив относительно времени T_i , получим

$$T_i \geq \frac{3,78 \cdot K_p}{-0,7 \cdot K_p + 4,83 \cdot K_p + 3,125}$$

Задавая значениями K_p , вычислим соответствующее значение T_i , а результаты представим в таблице.

K_p	0	1	2	3	4	5	6	7	7,4
T_i	0	0,52	0,75	1,0	1,34	1,93	3,28	10,06	

Построим в плоскости параметров настройки регулятора K_p и T_i границы устойчивости.

6. Определим область параметров настройки регулятора K_p и T_i при которых будет иметь место апериодическая устойчивость. Воспользуемся критерием

Эйлера, согласно которому: если система устойчива, то для любых трех смежных коэффициентов характеристического уравнения замкнутой АСР:

$a_k - 1$; a_k ; a_{k+1} должны выполняться неравенства

$$a_k^2 \left(\frac{K+1}{K} \right) \cdot \left(\frac{P-K+1}{P-K} \right) \cdot a_{k+1} \cdot a_{k-1} \quad (7)$$

где: p – степень характеристического уравнения (в вашем примере $p = 4$).

Для характеристического уравнения (5) должны выполняться три неравенства:

$$a_1^2 \geq \left(\frac{1+1}{1} \right) \cdot \left(\frac{4-1+1}{4-1} \right) \cdot a_2 \cdot a_0 = \frac{8}{3} \cdot a_2 \cdot a_0 \quad (8)$$

$$a_2^2 \geq \frac{9}{4} a_1 a_3 \quad (9)$$

$$a_3^2 \geq \frac{8}{3} a_2 a_4 \quad (10)$$

Подставим в уравнения (8), (9) и (10) значения коэффициентов $a_0 \dots a_4$, найдем:
 $K_p \leq 0,29$ $T_i \geq 0$

$$T_i \leq \frac{10 \cdot K_p}{(1 + 1,68 \cdot K_p)^2}; \quad (11)$$

Задаваясь в уравнении (11) значениями K_p вычислим соответствующее значения T_i , а результаты представим в таблице.

K_p	0	0,1	0,2	0,3	0,29
T_i	0	0,73	1,12	1,33	1,31

Построив на плоскости параметров K_p и T_i линии по выражениям (11) находим область апериодической устойчивости

7. Выберем параметры настройки регулятора K_p и T_i из области апериодичности. Поскольку фильтрующие свойства системы по отношению к возмущающим воздействиям тем лучше, чем больше $\frac{K_p}{T_i}$, то в качестве

параметров настройки регулятора выбираем оптимальную настройку:

$$K_p = 0,29; \quad T_i = 1,31 \text{ мин.}$$

8. Проверим устойчивость системы с помощью системы Гурвица. Подставим в характеристическое уравнение (5) выбранные значения K_p и T_i и после вычисления получим характеристическое уравнение замкнутой АСР:

$$0,32p^4 + 1,96p^3 + 2,94p^2 + 1,95p + 0,49 = 0$$

Здесь: $a_0 = 0,32$; $a_1 = 1,96$; $a_2 = 2,94$; $a_3 = 1,95$; $a_4 = 0,49$.

Составим определитель Гурвица:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 1,95 & 1,95 & 0 \\ 0,32 & 2,94 & 0,49 \\ 0 & 1,96 & 1,95 \end{vmatrix}$$

$$a_0 = 0,32 \geq 0; \quad a_1 = 1,96 \geq 0;$$

$$a_2 = 2,54 \geq 0; \quad a_3 = 1,95 \geq 0; \quad a_4 = 0,49 \geq 0.$$

$$\Delta_1 = 1,96 > 0;$$

$$\Delta_2 = 1,96 \cdot 2,94 - 0,32 \cdot 1,95 = 3,44 \geq 0;$$

$$\Delta_3 = 1,96 \cdot (2,94 \cdot 1,95 - 1,96 \cdot 0,49) - 0,49 \cdot 1,96 = 6,13 \geq 0;$$

$$\Delta_4 = 0,49 \cdot 6,13 = 0,49 \geq 0;$$

Следовательно, замкнутая АСР при выбранных параметрах настройки будет устойчива (по Гурвицу).

9. Проверим на устойчивость АСР с помощью критерия Михайлова.

Напишем характеристический полином.

$$G(p) = 0,32p^4 + 1,96p^3 + 2,94p^2 + 1,95p + 0,49$$

Заменим оператор P оператором jw

$$G(jw) = 0,32j^4 w^4 + 1,96j^3 w^3 + 2,94j^2 w^2 + 1,95jw + 0,49$$

Как известно: $j = \sqrt{-1}$; $j^2 = -1$; $j^3 = -j$; $j^4 = 1$

Выделим вещественную и мнимую составляющие вектора

$$G(jw) = 0,32w^4 - 1,96jw^3 - 2,94w^2 + 1,95jw + 0,49$$

$$G(jw) = (0,32w^4 - 2,94w^2 + 0,49) + j(-1,96w^3 + 1,95w)$$

Обозначим: $U(w) = 0,32w^4 - 2,94w^2 + 0,49$; $V(w) = -1,96w^3 + 1,95w$.

Замкнутая АСР будет устойчива, если годографу вектора (jw) при изменении от 0 до ∞ проходит последовательно в положительном направлении (против хода часовой стрелки) столько квадрантов, коков порядок характеристического уравнения замкнутой АСР.

Кривую Михайлова можно строить задаваясь частотой ω от 0 до ∞ и вычисляя значения $U(w)$ и $V(w)$.

Однако, построение будет рациональнее, если находить точки пересечения кривой Михайлова с осями X и Y.

Приняв к нулю $V(w)$ находим положительные значения частот $w_1 = 0$, $U(0) = 0,49$ и $w_3 = 1$, $U(1) = -2,13$.

Подставим эти частоты в выражение для $V(w)$, находим значения 0,49 и -2,13. Аналогично находим $w_2 = 0,35$, $w_4 = 3$ и $V(w)$. $V(0,395) = 0,65$; $V(3) = -47$.

Для рассматриваемой системы результаты вычислений внесем в таблицу

W	$W_1 = 0$	$W_2 = 0,395$	$W_3 = 1$	$W_4 = 3$	
U(w)	0,49	0	-2,13	0	
V(w)	0	0,65	0	-47	

По данным таблицы строим годограф Михайлова и делаем вывод об устойчивости системы.

Список рекомендуемой литературы

- 1.Келим Ю.М. Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации: учебник для СПО.-2-е изд.,стер.-М.:Академия,2017
- 2 Селевцов Л.И. Автоматизация технологических процессов: для студентов СПО.-М.: Академия, 2019
3. Пантелеев В.Н. Основы автоматизации производства: для студентов СПО.- М.: Академия, 2020
4. Шишмарев, В.Ю. Основы автоматизации технологических процессов. Практикум : учебно-практическое пособие / Шишмарев В.Ю. — Москва : КноРус, 2020.
- 5.Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов: учебник для СПО.-11-е изд.,стер.-М.:Академия,2017
- 6.Гальперин М.В. Автоматическое управление – М.: ФОРУМ ИНФРА.,2018-224с
7. www.owen.ru- сайт ПО «ОВЕН»