

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**( ДГТУ )**

Факультет «Авиастроение»

Кафедра «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования»

**Управление техническими системами**

#### Методические указания к выполнению контрольной работы

#### для студентов заочной формы обучения

Направление подготовки 25.03.01 **«Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей»**

##### Ростов-на-Дону

##### 2025

Составитель

###### Подготовлено на кафедре

*«Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования»*

**Контрольная работа**

по дисциплине «Управление техническими системами» для студентов специальности 25.03.01 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей».

**Методические указания**

Согласно учебному плану студент заочной формы обучения после изучения дисциплины «Управление техническими системами» выполняет одну контрольную работу.

К выполнению контрольной работы следует приступать только после изучения соответствующего раздела дисциплины.

**Введение**

Контрольная работа – письменная работа небольшого объема, предполагающая проверку знаний заданного к изучению материала и навыков его практического применения.

Контрольные работы могут состоять из одного или нескольких теоретических вопросов. Задание контрольной работы может быть сформулировано и в качестве одной или нескольких задач или заданий.

Написание контрольной работы практикуется в учебном процессе в целях приобретения студентом необходимой практической подготовки, развития умения и навыков самостоятельного научного поиска: изучения литературы по выбранной теме, анализа различных источников и точек зрения, обобщения материала, выделения главного, формулирования выводов и т. п. С помощью контрольной работы обучающийся постигает наиболее сложные проблемы дисциплины, учится лаконично излагать свои мысли, правильно оформлять работу.

**Задание на контрольную работу**

Контрольная работа выполняется с использованием компьютерной техники. При написании применяется текстовый редактор Word в пакете Microsoft Оffice. Текст оформляется на отдельных листах формата А4 общим объёмом 10 -12 страниц (кегль 14), сформированных в папку. Текст может располагаться только с одной стороны листа формата А4. Допускается включать в основную часть таблицы, рисунки, фотографии, графики, диаграммы. Контрольную работу каждый студент выполняет самостоятельно, используя рекомендуемую литературу.

Выбор варианта при выполнении контрольной работы определяется последней цифрой зачетной книжки для задач с четными номерами и предпоследней – с нечетными номерами. Решение каждой задачи должно содержать исходные данные, методику расчета, схемы и графики. Резуль таты вычислений для функций при разных значениях аргумента рекомен-дуется представлять в виде таблиц. В случае выполнения подобных расчетов с помощью вычислительной техники в решение задачи надо вклеить распечатку программы и результатов.

Содержание контрольной работы:

- титульный лист;

- содержание;

- основная часть;

- список использованных источников.

**Задача 1**

На рис. 1 приведена пассивная электрическая цепь в виде моста.

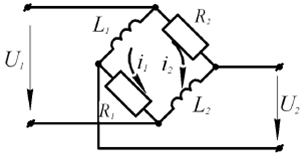


Рис.1

Записать дифференциальные уравнения и найти передаточную функцию, если в качестве входного сигнала взято напряжение на первичных зажимах *U* 1 , в качестве выходного – напряжение на вторичных зажимах

*U* 2.

Значения параметров схемы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты параметров

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры  схемы | Варианты | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *R*1 , кОм | 1 | 0,33 | 0,43 | 2,2 | 0,82 | 0,33 | 1 | 3,3 | 0,82 | 0,43 |
| *R*2 , кОм | 0,33 | 0,82 | 1 | 3,3 | 4,3 | 0,43 | 4,3 | 8,2 | 2,2 | 0,22 |
| *L*1 , Гн | 0,8 | 0,4 | 0,3 | 1 | 0,2 | 0,5 | 0,9 | 0,7 | 1,1 | 0,25 |
| *L*2 , Гн | 0,3 | 1,2 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,5 | 1 | 0,6 | 0,4 | 0,3 |

**Задача 2**

На рис.2 изображена структурная схема автоматической системы.

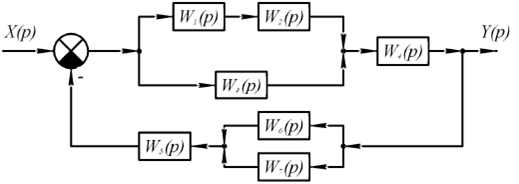


Рис.2

Передаточные функции имеют вид:

- усилительное звено

– интегрирующее звено

– апереодическое звено 1-го порядка.

– апереодическое звено 2-го порядка

- усилительное звено

- дифференцирующее звено

- усилительное звено

Значения коэффициентов передачи и постоянных времени приведены в табл. 2

Таблица 2

Варианты параметров передаточных функций

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исходные данные | Варианты | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *K* 1 | 1,8 | 2,1 | 2,0 | 1,6 | 1,4 | 2,0 | 0,8 | 1,2 | 1,5 | 1,0 |
| *K* 2 | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,03 |
| *K* 3 | 1,6 | 1,8 | 2,1 | 1,4 | 1,0 | 0,8 | 1,2 | 2,2 | 2,0 | 1,6 |
| *K* 4 | 1,1 | 2,4 | 1,8 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | 2,1 | 2,0 | 1,5 | 1,0 |
| *K* 5 | 1,6 | 2,0 | 2,2 | 1,8 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 2,0 | 1,8 | 2,4 |
| *K* 6 | 2,1 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 1,8 | 1,4 | 1,6 | 1,2 | 1,0 | 1,5 |
| *K* 7 | 1,7 | 1,2 | 2,0 | 1,8 | 1,0 | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 1,5 |
| *T*1 , с | 4,0 | 2,0 | 2,2 | 3,5 | 3,2 | 2,5 | 2,2 | 3,5 | 4,5 | 3,2 |
| *T*2 , с | 0,4 | 0,3 | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 0,7 | 0,9 | 0,6 | 0,8 | 0,9 |
| *T*3 , с | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,4 | 1,8 |

В задаче необходимо выполнить следующее:

1. Найти передаточную функцию разомкнутой системы.

2. Найти передаточную функцию замкнутой системы по задающему воздействию X ( p) .

**Задача 3**

Апериодическое звено 2-го порядка описывается передаточной функцией следующего вида:

В табл. 3 приведены значения коэффициента передачи и постоянных времени *T*1 и *T*2 .

Построить амплитудно-фазовую (АФХ) (комплексно-частотную (КЧХ)), амплитудно-частотную (АЧХ), фазочастотную (ФЧХ) и асимптотическую логарифмическую амплитудно-частотную (ЛАЧХ) характеристики звена.

Таблица 3

Значения параметров звеньев

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исходные  данные | Варианты | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *K* | 8 | 6 | 5 | 9 | 4 | 10 | 7 | 8 | 7 | 5 |
| *T*1 , с | 0,01 | 0,012 | 0,02 | 0,015 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,018 | 0,016 |
| *T*2 , с | 0,1 | 0,12 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,24 |

**Задача 4**

Система описывается характеристическим уравнением вида:

a3p3+a2p2+a1p+a0=0

Значения коэффициентов a0 - a3 приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения коэффициентов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исходные  данные | Варианты | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 3  *a*3 , *c* | 10 | 12 | 8 | 8 | 8 | 11 | 9 | 12 | 10 | 6 |
| 2  *a* 2 , *c* | 5 | 8 | 4 | 3 | 4 | 6 | 3 | 5 | 4 | 2 |
| *a*1 , *c* | 2,5 | 1,5 | 1 | 1,2 | 2,4 | 1,2 | 1,1 | 2 | 1 | 1,3 |
| *a*0 | 10 | 12 | 14 | 16 | 12 | 18 | 16 | 15 | 12 | 10 |

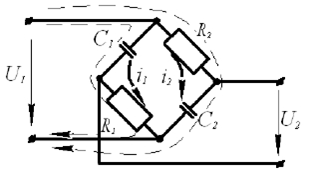
Оценить устойчивость системы по критериям Гурвица и михайлова.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ**

**Задача 1**

В качестве примера рассмотрим нахождение передаточной функции

для пассивной цепи, схема которой изображена на рисунке.



Запишем дифференциальное уравнение для контуров, обозначенных на рисунке:

В операторной форме эти уравнения запишутся так:

Откуда

где

*P* – оператор Лапласа

Напряжение *U*2(*t* ) на вторичных зажимах можно определить следующим образом:

или в операторной форме:

Подстановка выражений для токов *I*1(*p*) и *I*2(*p*) позволяет найти связь между входным *U*1(*p*) и выходным *U*2(*p*) сигналами:

откуда передаточная функция получается равной:

**Задача 2**

Напомним, что при последовательном соединении звеньев (рис. 4, а) общая передаточная функция определяется произведением передаточных функций отдельных звеньев:

а при параллельном соединении (рис. 4, б) – их суммой:

При соединении с обратной связью (рис. 4, в) общая передаточная функ-ция замкнутой системы находится так:

Знак (-) при положительной ОС, а знак (+) при отрицательной ОС.

Для случая весьма распространенной единичной отрицательной об-ратной связи (рис. 4, г) выражение для Wз ( p) получается таким:

В качестве примера рассмотрим нахождение передаточной функции разомкнутой и замкнутой систем, структурная схема которой изображена на рис. 5.

Звенья с передаточными функциями *W*1(*p*) и *W*2(*p*) соединены последовательно, а потому их общая передаточная функция:

*W*12(*p*) *W*1(*p*) *W*2(*p*) .

В свою очередь звенья с передаточными функциями *W*12(*p*) и *W*3(*p*) соединены параллельно, а потому их общая передаточная функция:

*W*123(*p*)= *W*12(*p*)+ *W*3(*p*) .

Звено с такой передаточной функцией соединено последова-тельно со звеном, имеющим передаточную функцию *W*4(*p*) .

Тогда:

*W*1234(*p*) = *W*123(*p*) *W*4(*p*) .

Это и будет передаточная функция разомкнутой системы, которая теперь запишется так:

*Wраз*(*p*)=*W*1234(*p*)=*W*4(*p*)[*W*3(*p*)+*W*1(*p*)*W*2(*p*)] .

При нахождении *Wз*(*p*) учтем, что обратная связь – единичная отрицательная, следовательно:

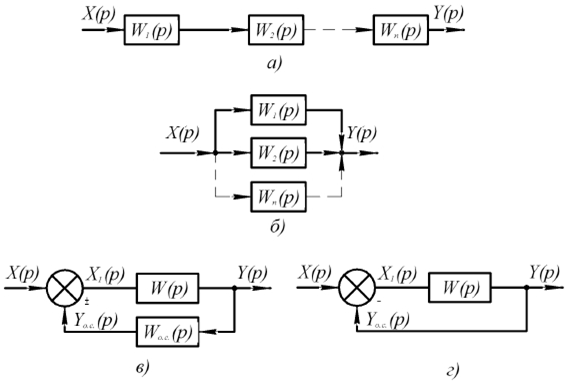


Рис. 4. Соединение звеньев автоматики

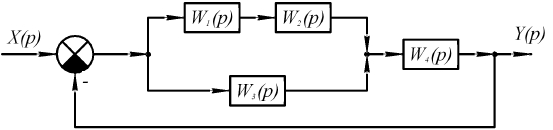


Рис. 5.Структурная схема системы

**Задача 3**

В качестве примера рассмотрим построение частотных характери-

стик звена с передаточной функцией:

Амплитудно-фазовой (АФХ) (комплексно-частотной (КЧХ)) харак-

теристикой называется геометрическое место концов вектора *W* ( *jω* ) при

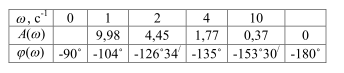
изменении частоты *ω*  от 0 до ∞ .

Зависимость модуля *A*(*ω* ) функции *W* ( *jω* ) от частоты есть амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), зависимость фазы *ϕ* (*ω*) функции *W* ( *jω* ) от частоты – фазочастотная характеристика (ФЧХ).

Данные расчета сведены в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные данные звена



По данным табл. 5 строим АФХ, АЧХ, ФЧХ (рис. 6).

Асимптотическая амплитудно-частотная характеристика (рис. 7) соответ-ствует выражению:



По оси абсцисс отложен логарифм частоты *ω*  в декадах (и сама частота

*ω*,с-1), по оси ординат – *L*(ω) в децибелах.

Начальный участок характеристики соответствует интегрирующему звену и представляет собой прямую, проходящую с наклоном через точку (0;20lg10).

В точке, соответствующей частоте сопряжения , наклон изменяется еще на , в результате чего общий наклон 2-го участка будет .

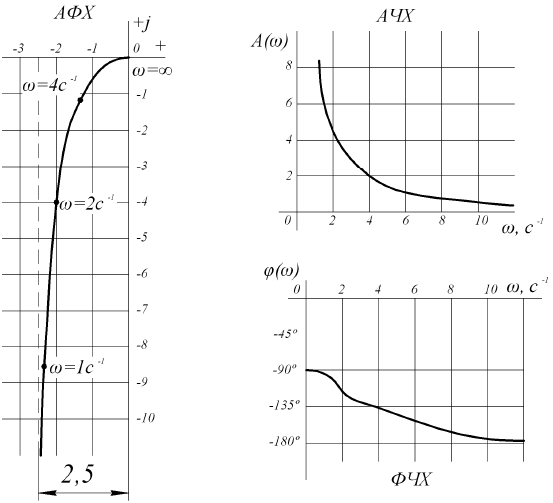


Рис. 6. Частотные характеристики звена

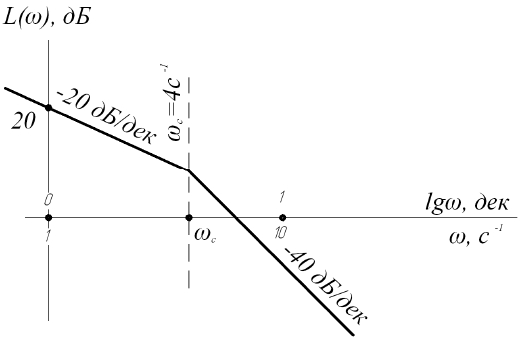


Рис. 7. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика звена

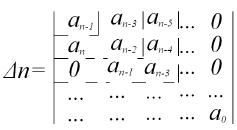
**Задача 4**

Критерий Рауса-Гурвица позволяет оценить устойчивость системы,

описываемой характеристическим уравнением вида:

*H* ( *p*)= *a n p n*+ *a n*-1 *p n*-1+ ...+ *a* 2 *p* 2+ *a*1 *p*+ *a* 0= 0 .

Составим определитель из коэффициентов этого уравнения:



При заполнении определителя по главной диагонали ставятся все ко-

эффициенты характеристического уравнения, начиная со второго ( *a n*-1 ).

Выше диагонального члена ставятся коэффициенты при более низких степенях *p* , ниже – при более высоких. На место коэффициентов, индексы

которых больше *n* или меньше нуля, ставятся нули. Диагональные миноры

выделены пунктирными линиями.

САР устойчива, если при *a n* > 0 определитель Δ *n*(Рауса-Гурвица)

и все его диагональные миноры, получающиеся вычеркиванием из преды-

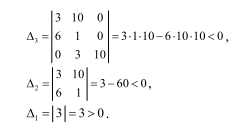
дущего определителя последней строки и последнего столбца, положи-

тельны.

Например, характеристическое уравнение САР имеет вид:

*H* ( *p*)= 6 *p*3+ 3 *p*2+*p*+ 10= 0 .

Тогда



***Система неустойчива, так как Δ3 и Δ 2 отрицательны.***

Для оценки устойчивости по критерию Михайлова надо построить

кривую Михайлова (геометрическое место концов вектора *H* ( *jω* ) ).

***Если она начинается на вещественной положительной оси, поворачивается с ростом частоты в положительном направлении (против часовой стрелки), проходит последовательно n квадрантов, нигде не обращаясь в ноль и в n - ом квадранте уходит в бесконечность, то САР устойчива.***

Оценим устойчивость системы, характеристическое уравнение кото-

рой таково:

*H* ( *p*)= 0,2 *p*3+ *p*2+ *p*+ 10= 0 .

Запишем *H* ( *jω* ) :



Результаты расчета *A*(*ω*) и *B*(*ω*) для разных частот*ω*  сведем в табл. 6.

Таблица 6

Расчетные данные для построения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| -1  ** , с | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 3 | 4 |
| *A*(** ) | 10 | 9,75 | 9 | 7,75 | 6 | 1 | –6 |
| *B*(** ) | 0 | 0,475 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | –2,4 | –8,8 |

По данным расчета строим семейство векторов, огибающая концов

которых (рис. 8) и есть кривая Михайлова.

**Видно, что САР неустойчива,так как не соблюдается последователь-ность прохождения квадрантов.**

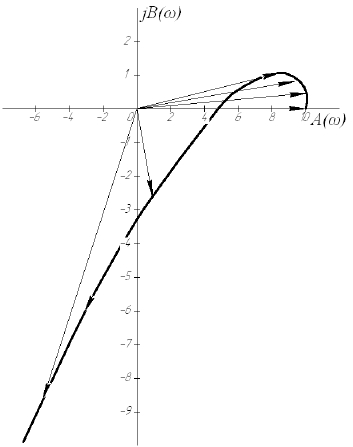


Рис. 8. Кривая Михайлова

**Рекомендуемая литература**

1. Малафеев, С.И. Теория автоматического управления: Учебник / С.И. Малафеев. - М.: Академия, 2019. - 352 c.
2. Селевцов, Л.И. Автоматизация технологических процессов: Учебник / Л.И. Селевцов. - М.: Academia, 2019. - 160 c
3. Клепиков, В.В. Автоматизация производственных процессов: Учебное пособие / В.В. Клепиков, А.Г. Схиртладзе, Н.М. Султан-заде. - М.: Инфра-М, 2019. - 351 c.
4. Фельдштейн, Е.Э. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: Учебное пособие / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. - М.: Инфра-М, 2019. - 208 c.
5. Теория автоматического управления и управление техническими системами: методические рекомендации по изучению дисциплины / составители А. И. Гусев, В. В. Неижмак. - Ульяновск: УИ ГА, 2020. - 19 с
6. Основы теории автоматического управления: методические рекомендации по изучению дисциплины / составители : Л. А. Нигматуллина, М. И. Атянчева. - Ульяновск : УИ ГА, 2020. - 38 с.; в обл. - Библиогр.: с. 37.
7. Теория автоматического управления и управление техническими системами: методические рекомендации по изучению дисциплины / составители: А. И. Гусев, В. В. Неижмак. - Ульяновск: УИ ГА, 2020. - 19 с.: ил.; 20 см. - Библиогр.: с. 18.