

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу  
«Сучасна теорія управління»  
для студентів напряму підготовки 6.050101  
«Комп'ютерні науки»

Харків

2015

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Теорія автоматичного управління» для студентів напрямку підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки» / Сост.: О.С. Назаров. – Харків: ХНАДУ, 2015. – 23 с.

Укладачі:

О.С. Назаров

Кафедра інформаційних технологій та мехатроніки

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие положения .....	4
Техника безопасности при работе с ЭВМ .....	4
Лабораторная работа № 1. Построение и анализ переходной функции и частотных характеристик инерционного звена 1-го порядка .....	5
Лабораторная работа № 2. Построение и анализ переходной функции и частотных характеристик инерционного звена 2-го порядка .....	7
Лабораторная работа № 3. Построение и анализ переходной функции и частотных характеристик реального интегрирующего звена .....	11
Лабораторная работа № 4. Построение и анализ переходной функции и частотных характеристик реального дифференцирующего звена .....	13
Лабораторная работа № 5. Исследование устойчивости систем автоматического управления с помощью критерия Михайлова	16
Лабораторная работа № 6. Исследование устойчивости систем автоматического управления с помощью критерия Найквиста .	18
Список литературы .....	31

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Целью изучения курса «Теория автоматического управления» является освоение студентами знаний по основам теории систем автоматического управления, состоящей из следующих основных частей: принципы построения, математическое моделирование и устойчивость линейных стационарных систем управления; теория нестационарных, цифровых и нелинейных систем автоматического управления.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты осваивают методику исследования линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных систем автоматического управления. При этом необходимо умение применять знания основных разделов курса «Теория автоматического управления».

Лабораторные работы выполняются студентами на персональных компьютерах. Студенты должны владеть основами алгоритмических языков или математических пакетов для ЭВМ.

В методических указаниях рассмотрены элементы и звенья систем автоматического регулирования, временные и частотные характеристики динамических звеньев, устойчивость линейных систем автоматического регулирования и др.

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭВМ

1. К работе на ЭВМ допускаются студенты, изучившие правила техники безопасности, имеющие навыки работы с системой и текст программы для реализации.

2. Подготовка ЭВМ к работе, техническое обслуживание и ремонт производятся персоналом кафедры, имеющим соответствующую подготовку. Поэтому о любых неполадках в работе ЭВМ необходимо сообщить преподавателю.

3. Студентам при работе на ЭВМ разрешается пользоваться только клавиатурой, манипулятором «мышь» и дисплеем. Использование других устройств без разрешения преподавателя запрещается.

4. **Категорически запрещается** пользоваться дискетами, не проверенными преподавателем.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЕРЦИОННОГО ЗВЕНА 1-ГО ПОРЯДКА

**Цель работы** – исследование динамических свойств инерционного звена 1-го порядка по его переходной функции и частотным характеристикам (амплитудно-частотной (АЧХ), фазо-частотной (ФЧХ) и амплитудно-фазо-частотной характеристикам (АФЧХ)).

### Расчетные зависимости

Динамические свойства инерционного звена 1-го порядка описываются дифференциальным уравнением вида

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k x(t).$$

Это уравнение в операторной форме имеет вид

$$(Ts + 1) y(s) = k x(s). \quad (1.1)$$

Передаточная функция инерционного звена 1-го порядка может быть получена из уравнения (1.1)

$$W(s) = \frac{k}{Ts + 1}. \quad (1.2)$$

*Переходная функция* этого звена имеет следующий вид

$$h(t) = k \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \cdot 1(t).$$

В (1.2) произведем замену  $s = j\omega$ . В результате получим выражение для частотной передаточной функции звена

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T}. \quad (1.3)$$

В выражении (1.3) выделим действительную и мнимую части

$$U(\omega) = \frac{k}{1 + \omega^2 T^2}; \quad (1.4)$$

$$V(\omega) = -\frac{k\omega T}{1 + \omega^2 T^2}. \quad (1.5)$$

Из формул (1.4) и (1.5) получим выражения для АЧХ и ФЧХ инерционного звена 1-го порядка

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}};$$

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \omega T.$$

Изменяя  $\omega$  от нуля до бесконечности с помощью выражений (1.4) и (1.5) на комплексной плоскости  $(U, V)$  можно построить АФЧХ инерционного звена 1-го порядка.

#### **Задание**

Построить переходную функцию и частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ и АФЧХ) инерционного звена 1-го порядка при различных значениях коэффициента передачи и постоянной времени. Варианты заданий приведены в таблице 1.1.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Составить программу расчета переходной функции и частотных характеристик инерционного звена 1-го порядка.

2. По результатам расчета построить переходную функцию и частотные характеристики инерционного звена 1-го порядка и сделать выводы о его динамических свойствах (полоса пропускания входного сигнала, фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного). Причем переходную функцию и АЧХ построить для случаев  $a$ ,  $b$ ,  $v$  и  $z$ , ФЧХ для случаев  $a$  и  $b$ , АФЧХ для случаев  $a$  и  $v$ .

#### **Оформление отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать формулировку ее цели; расчетные зависимости инерционного звена 1-го порядка; результаты расчетов, сведенные в таблицы; построенные графики переходной функции, АЧХ, ФЧХ и АФЧХ звена (каждая характеристика для указанных случаев строится на одном графике); текст программы расчета; выводы о динамических свойствах звена.

**Таблица 1.1 – Варианты заданий для построения переходной функции и частотных характеристик инерционного звена 1-го порядка**

Варианты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>		<i>г</i>	
	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>
1	15	0.02	15	0.05	30	0.02	30	0.05
2	20	0.03	20	0.07	35	0.03	35	0.07
3	25	0.04	25	0.10	40	0.04	40	0.10
4	30	0.05	30	0.12	45	0.05	45	0.12
5	35	0.06	35	0.15	50	0.06	50	0.15
6	40	0.07	40	0.17	55	0.07	55	0.17
7	45	0.08	45	0.20	60	0.08	60	0.20
8	50	0.09	50	0.22	65	0.09	65	0.22
9	55	0.10	55	0.25	70	0.10	70	0.25
10	60	0.11	60	0.27	75	0.11	75	0.27
11	65	0.12	65	0.30	80	0.12	80	0.30
12	70	0.13	70	0.32	85	0.13	85	0.32
13	75	0.14	75	0.35	90	0.14	90	0.35
14	80	0.15	80	0.37	95	0.15	95	0.37
15	85	0.16	85	0.40	100	0.16	100	0.40
16	90	0.17	90	0.42	105	0.17	105	0.42
17	95	0.18	95	0.45	110	0.18	110	0.45
18	100	0.19	100	0.47	115	0.19	115	0.47
19	105	0.20	105	0.50	120	0.20	120	0.50
20	110	0.21	110	0.52	125	0.21	125	0.52

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНЕРЦИОННОГО ЗВЕНА 2-ГО ПОРЯДКА

**Цель работы** – исследование динамических свойств инерционного звена 2-го порядка по его переходной функции и частотным характеристикам (АЧХ, ФЧХ и АФЧХ).

### Расчетные зависимости

Динамические свойства инерционного звена 2-го порядка описываются дифференциальным уравнением вида

$$T_0^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k x(t).$$

Это уравнение в операторной форме имеет вид

$$(T_0^2 s^2 + T s + 1) y(s) = k x(s). \quad (2.1)$$

Передаточная функция инерционного звена 2-го порядка может быть получена из уравнения (2.1)

$$W(s) = \frac{k}{T_0^2 s^2 + T s + 1}. \quad (2.2)$$

После преобразования выражения (2.2) получим

$$W(s) = \frac{k\omega_0^2}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2}, \quad (2.3)$$

где  $\omega_0 = 1/T_0$  – собственная частота;  $\xi = T/2T_0$  – постоянная затухания звена (коэффициент демпфирования).

Характер переходной функции и частотные характеристики определяются корнями  $s_1$  и  $s_2$  характеристического уравнения  $s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2 = 0$  и величиной  $\xi$ .

Корни характеристического уравнения



$$s_{1,2} = -\xi\omega_0 \pm \sqrt{\xi^2\omega_0^2 - \omega_0^2} = -\xi\omega_0 \pm \omega_0\sqrt{\xi^2 - 1}.$$

Рассмотрим случай, когда  $0 < \xi < 1$ .

При этом корни

$$s_1 = -\xi\omega_0 + j\omega_0\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha + j\beta;$$

$$s_2 = -\xi\omega_0 - j\omega_0\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha - j\beta.$$

Следовательно, корни характеристического уравнения  $s_1$  и  $s_2$  комплексные, сопряженные, с отрицательной вещественной частью.

*Переходная функция* этого звена имеет следующий вид

$$h(t) = k \left[ 1 - \frac{e^{-\xi\omega_0 t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin \left( \omega_0 \sqrt{1-\xi^2} t + \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \right) \right].$$

В (2.3) произведем замену  $s = j\omega$ . В результате получим выражение для частотной передаточной функции звена

$$W(j\omega) = \frac{k\omega_0^2}{-\omega^2 + j2\xi\omega_0\omega + \omega_0^2}. \quad (2.4)$$

В выражении (2.4) выделим действительную и мнимую части

$$U(\omega) = \frac{k \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)}{\left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}; \quad (2.5)$$

$$V(\omega) = \frac{-2\xi \frac{\omega}{\omega_0} k}{\left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}. \quad (2.6)$$

Из формул (2.5) и (2.6) получим выражения для АЧХ и ФЧХ инерционного звена 2-го порядка

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}};$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}.$$

Изменяя  $\omega$  от нуля до бесконечности с помощью выражений (2.5) и (2.6) на комплексной плоскости  $(U, V)$  можно построить АФЧХ инерционного звена 2-го порядка.

### **Задание**

Построить переходную функцию и частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ и АФЧХ) инерционного звена 2-го порядка при различных значениях постоянных времени. Варианты заданий приведены в таблице 2.1.

1. Составить программу расчета переходной функции и частотных характеристик инерционного звена 2-го порядка.

2. По результатам расчета построить переходную функцию и частотные характеристики инерционного звена 2-го порядка и сделать выводы о его динамических свойствах (полоса пропускания входного сигнала, фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного и резонансная частота) для случаев *а* и *б*.

### **Оформление отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать формулировку ее цели; расчетные зависимости инерционного звена 2-го порядка; результаты расчетов, сведенные в таблицы; построенные графики переходной функции, АЧХ, ФЧХ и АФЧХ звена (каждая характеристика для указанных случаев строится на одном графике); текст программы расчета; выводы о динамических свойствах звена.

**Таблица 2.1 – Варианты заданий для построения переходной функции и частотных характеристик инерционного звена 2-го порядка**

Варианты	$k$	$a$		$b$	
		$T_0$	$T$	$T_0$	$T$
1	15	0.015	0.005	0.020	0.035
2	20	0.020	0.010	0.025	0.040
3	25	0.025	0.015	0.030	0.045
4	30	0.030	0.020	0.035	0.050
5	35	0.035	0.025	0.040	0.055
6	40	0.040	0.030	0.045	0.060
7	45	0.045	0.035	0.050	0.065
8	50	0.050	0.040	0.055	0.070
9	55	0.055	0.045	0.060	0.075
10	60	0.060	0.050	0.065	0.080
11	65	0.065	0.055	0.070	0.085
12	70	0.070	0.060	0.075	0.090
13	75	0.075	0.065	0.080	0.095
14	80	0.080	0.070	0.085	0.100
15	85	0.085	0.075	0.090	0.105
16	90	0.090	0.080	0.095	0.110
17	95	0.095	0.085	0.100	0.115
18	100	0.100	0.090	0.105	0.120
19	105	0.105	0.095	0.110	0.125
20	110	0.110	0.100	0.115	0.130

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

## ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАЛЬНОГО ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ЗВЕНА

**Цель работы** – исследование динамических свойств реального интегрирующего звена по его переходной функции и частотным характеристикам (АЧХ, ФЧХ и АФЧХ).

### Расчетные зависимости

Динамические свойства реального интегрирующего звена описываются уравнением вида

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \int_0^t x(t) dt.$$

Это уравнение в операторной форме имеет вид

$$(Ts + 1) y(s) = \frac{k}{s} x(s). \quad (3.1)$$

Передаточная функция реального интегрирующего звена может быть получена из уравнения (3.1)

$$W(s) = \frac{k}{s(Ts + 1)}. \quad (3.2)$$

*Переходная функция* этого звена имеет следующий вид

$$h(t) = k \left[ t - T \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \right] \cdot 1(t).$$

В (3.2) произведем замену  $s = j\omega$ . В результате получим выражение для частотной передаточной функции звена

$$W(j\omega) = \frac{k}{j\omega(1 + j\omega T)}. \quad (3.3)$$

В выражении (3.3) выделим действительную и мнимую части

$$U(\omega) = -\frac{kT}{1 + \omega^2 T^2}; \quad (3.4)$$

$$V(\omega) = -\frac{k}{\omega(1 + \omega^2 T^2)}. \quad (3.5)$$

Из формул (3.4) и (3.5) получим выражения для АЧХ и ФЧХ реального интегрирующего звена

$$A(\omega) = \frac{k}{\omega \sqrt{1 + \omega^2 T^2}}; \quad \varphi(\omega) = -\frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \omega T.$$

Изменяя  $\omega$  от нуля до бесконечности с помощью выражений (3.4) и (3.5) на комплексной плоскости  $(U, V)$  можно построить АФЧХ реального интегрирующего звена.

### **Задание**

Построить переходную функцию и частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ и АФЧХ) реального интегрирующего звена при различных значениях коэффициента передачи и постоянной времени. Варианты заданий приведены в таблице 3.1.

### **Порядок выполнения работы**

1. Составить программу расчета переходной функции и частотных характеристик реального интегрирующего звена.

2. По результатам расчета построить переходную функцию и частотные характеристики реального интегрирующего звена и сделать выводы о его динамических свойствах (полоса пропускания входного сигнала, фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного). Причем АФЧХ построить для случаев *a*, *б*, *в* и *г*, переходную функцию для случаев *б* и *г*, АЧХ для случаев *a* и *в*, ФЧХ для случаев *a* и *б*.

### **Оформление отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать формулировку ее цели; расчетные зависимости реального интегрирующего звена; результаты расчетов, сведенные в таблицы; построенные графики переходной функции, АЧХ, ФЧХ и АФЧХ звена (каждая характеристика для указанных случаев строится на одном графике); текст программы расчета; выводы о динамических свойствах звена.

**Таблица 3.1 – Варианты заданий для построения переходной функции и частотных характеристик реального интегрирующего звена**

Варианты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>		<i>г</i>	
	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>
1	15	0.02	15	0.05	30	0.02	30	0.05
2	20	0.03	20	0.07	35	0.03	35	0.07
3	35	0.04	35	0.10	40	0.04	40	0.10
4	40	0.05	40	0.12	45	0.05	45	0.12
5	45	0.06	45	0.15	50	0.06	50	0.15
6	50	0.07	50	0.17	55	0.07	55	0.17
7	55	0.08	55	0.20	60	0.08	60	0.20
8	60	0.09	60	0.22	65	0.09	65	0.22
9	65	0.10	65	0.25	70	0.10	70	0.25
10	70	0.11	70	0.27	75	0.11	75	0.27
11	75	0.12	75	0.30	80	0.12	80	0.30
12	80	0.13	80	0.32	85	0.13	85	0.32
13	85	0.14	85	0.35	90	0.14	90	0.35
14	90	0.15	90	0.37	95	0.15	95	0.37
15	95	0.16	95	0.40	100	0.16	100	0.40
16	100	0.17	100	0.42	105	0.17	105	0.42
17	105	0.18	105	0.45	110	0.18	110	0.45
18	110	0.19	110	0.47	115	0.19	115	0.47
19	115	0.20	115	0.50	120	0.20	120	0.50
20	120	0.21	120	0.52	125	0.21	125	0.52

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАЛЬНОГО ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕГО ЗВЕНА

**Цель работы** – исследование динамических свойств реального дифференцирующего звена по его переходной функции и частотным характеристикам (АЧХ, ФЧХ и АФЧХ).

### Расчетные зависимости

Динамические свойства реального дифференцирующего звена описываются дифференциальным уравнением вида

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \frac{dx(t)}{dt}.$$

Это уравнение в операторной форме имеет вид

$$(T s + 1) y(s) = k s x(s). \quad (4.1)$$

Передаточная функция реального дифференцирующего звена может быть получена из уравнения (4.1)

$$W(s) = \frac{k s}{T s + 1}. \quad (4.2)$$

*Переходная функция* этого звена имеет следующий вид

$$h(t) = \frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}} \cdot 1(t).$$

В (4.2) произведем замену  $s = j\omega$ . В результате получим выражение для частотной передаточной функции звена

$$W(j\omega) = \frac{j\omega k}{1 + j\omega T}. \quad (4.3)$$

В выражении (4.3) выделим действительную и мнимую части

$$U(\omega) = \frac{k\omega^2 T}{1 + \omega^2 T^2}; \quad (4.4)$$

$$V(\omega) = \frac{k\omega}{1 + \omega^2 T^2}. \quad (4.5)$$

Из формул (4.4) и (4.5) получим выражения для АЧХ и ФЧХ реального дифференцирующего звена

$$A(\omega) = \frac{k\omega}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}; \quad \varphi(\omega) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \omega T.$$

Изменяя  $\omega$  от нуля до бесконечности с помощью выражений (4.4) и (4.5) на комплексной плоскости  $(U, V)$  можно построить АФЧХ реального дифференцирующего звена.

### **Задание**

Построить переходную функцию и частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ и АФЧХ) реального дифференцирующего звена при различных значениях коэффициента передачи и постоянной времени. Варианты заданий приведены в таблице 4.1.

### **Порядок выполнения работы**

1. Составить программу расчета переходной функции и частотных характеристик реального дифференцирующего звена.

2. По результатам расчета построить переходную функцию и частотные характеристики реального дифференцирующего звена и сделать выводы о его динамических свойствах (полоса пропускания входного сигнала, фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного). Причем АЧХ и АФЧХ построить для случаев *a*, *б*, *в* и *г*, переходную функцию для случаев *б* и *г*, ФЧХ для случаев *a* и *б*.

### **Оформление отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать формулировку ее цели; расчетные зависимости реального дифференцирующего звена; результаты расчетов, сведенные в таблицы; построенные графики переходной функции, АЧХ, ФЧХ и АФЧХ звена (каждая характеристика для указанных случаев строится на одном графике); текст программы расчета; выводы о динамических свойствах звена.



**Таблица 4.1 – Варианты заданий для построения переходной функции и частотных характеристик реального дифференцирующего звена**

Варианты	<i>a</i>		<i>б</i>		<i>в</i>		<i>г</i>	
	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>	<i>k</i>	<i>T</i>
1	15	0.02	15	0.05	30	0.02	30	0.05
2	20	0.03	20	0.07	35	0.03	35	0.07
3	25	0.04	25	0.10	40	0.04	40	0.10
4	30	0.05	30	0.12	45	0.05	45	0.12
5	35	0.06	35	0.15	50	0.06	50	0.15
6	40	0.07	40	0.17	55	0.07	55	0.17
7	45	0.08	45	0.20	60	0.08	60	0.20
8	50	0.09	50	0.22	65	0.09	65	0.22
9	55	0.10	55	0.25	70	0.10	70	0.25
10	60	0.11	60	0.27	75	0.11	75	0.27
11	65	0.12	65	0.30	80	0.12	80	0.30
12	70	0.13	70	0.32	85	0.13	85	0.32
13	75	0.14	75	0.35	90	0.14	90	0.35
14	80	0.15	80	0.37	95	0.15	95	0.37
15	85	0.16	85	0.40	100	0.16	100	0.40
16	90	0.17	90	0.42	105	0.17	105	0.42
17	95	0.18	95	0.45	110	0.18	110	0.45
18	100	0.19	100	0.47	115	0.19	115	0.47
19	105	0.20	105	0.50	120	0.20	120	0.50
20	110	0.21	110	0.52	125	0.21	125	0.52

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ МИХАЙЛОВА

**Цель работы** – освоение методики исследования устойчивости замкнутой системы автоматического управления (САУ) с помощью годографа Михайлова.

## **Расчетные зависимости**

Рассмотрим САУ, имеющую передаточную функцию

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_0^2 s^2 + T s + 1)}.$$

Характеристический полином замкнутой САУ имеет вид

$$C(s) = (T_1 s + 1)(T_0^2 s^2 + T s + 1) + k. \quad (5.1)$$

После преобразования (5.1) получим

$$C(s) = T_0^2 T_1 s^3 + (T_0^2 + T T_1) s^2 + (T + T_1) s + 1 + k. \quad (5.2)$$

В характеристическом полиноме (5.2) произведем замену  $s = j\omega$ :

$$C(j\omega) = -T_0^2 T_1 j\omega^3 - (T_0^2 + T T_1) \omega^2 + (T + T_1) j\omega + 1 + k. \quad (5.3)$$

В (5.3) выделим действительную и мнимую части:

$$X(\omega) = -(T_0^2 + T T_1) \omega^2 + 1 + k; \quad (5.4)$$

$$Y(\omega) = -T_0^2 T_1 \omega^3 + (T + T_1) \omega. \quad (5.5)$$

Изменяя  $\omega$  от нуля до бесконечности с помощью выражений (5.4) и (5.5) построим на комплексной плоскости  $(X, Y)$  кривую характеристического полинома (5.3), называемую годографом Михайлова.

## **Задание**

Построить годограф Михайлова САУ при различных значениях коэффициента передачи. Определить критический коэффициент передачи САУ. Варианты заданий приведены в таблице 5.1.

### Порядок выполнения работы

1. Составить программу расчета годографа Михайлова САУ.
2. По результатам расчета построить годограф Михайлова САУ и сделать вывод об устойчивости системы для случаев *a*, *б* и *в*. Найти критический коэффициент передачи САУ.

### Оформление отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать формулировку ее цели; расчетные зависимости годографа Михайлова САУ; результаты расчетов, сведенные в таблицы; построенный годограф Михайлова САУ для указанных случаев на одном графике; значение критического коэффициента передачи САУ; текст программы расчета; выводы об устойчивости САУ.

Таблица 5.1 – Варианты заданий для исследования устойчивости САУ с помощью критерия Михайлова

Варианты	$T_0$	$T$	$T_1$	$k$		
				<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
1	0.05	0.02	0.25	5	15	25
2	0.06	0.04	0.50	10	20	30
3	0.07	0.06	0.75	15	25	35
4	0.08	0.08	1.00	20	30	40
5	0.09	0.10	1.25	25	35	45
6	0.10	0.12	1.50	30	40	50
7	0.11	0.14	1.75	35	45	55
8	0.12	0.16	2.00	40	50	60
9	0.13	0.18	2.25	45	55	65
10	0.14	0.20	2.50	50	60	70
11	0.15	0.22	2.75	55	65	75
12	0.16	0.24	3.00	60	70	80
13	0.17	0.26	3.25	65	75	85
14	0.18	0.28	3.50	70	80	90
15	0.19	0.30	3.75	75	85	95
16	0.20	0.32	4.00	80	90	100
17	0.21	0.34	4.25	85	95	105
18	0.22	0.36	4.50	90	100	110
19	0.23	0.38	4.75	95	105	115
20	0.24	0.40	5.00	100	110	120

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА

**Цель работы** – освоение методики исследования устойчивости замкнутой САУ на основании анализа АФЧХ разомкнутой системы.

## **Расчетные зависимости**

Рассмотрим САУ, имеющую передаточную функцию

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_0^2 s^2 + T s + 1)}. \quad (6.1)$$

В (6.1) произведем замену  $s = j\omega$ . В результате получим выражение для частотной передаточной функции системы

$$W(j\omega) = \frac{k}{(1 + j\omega T_1) \left[ (1 - \omega^2 T_0^2) + j\omega T \right]}. \quad (6.2)$$

В выражении (6.2) выделим действительную и мнимую части:

$$U(\omega) = \frac{k \left[ (1 - \omega^2 T_0^2) - \omega^2 T_1 T \right]}{(1 + \omega^2 T_1^2) \left[ (1 - \omega^2 T_0^2)^2 + \omega^2 T^2 \right]}; \quad (6.3)$$

$$V(\omega) = -\frac{k\omega \left[ T + (1 - \omega^2 T_0^2) T_1 \right]}{(1 + \omega^2 T_1^2) \left[ (1 - \omega^2 T_0^2)^2 + \omega^2 T^2 \right]}. \quad (6.4)$$

С помощью формул (6.3) и (6.4) при изменении  $\omega$  от нуля до бесконечности построим АФЧХ разомкнутой САУ.

## **Задание**

Построить АФЧХ САУ при различных значениях коэффициента передачи. Определить критический коэффициент передачи САУ. Варианты заданий приведены в таблице 6.1.

## **Порядок выполнения работы**

1. Составить программу расчета АФЧХ САУ.
2. По результатам расчета построить АФЧХ САУ и сделать вывод об устойчивости системы для случаев *a*, *б* и *в*. Найти критический коэффициент передачи САУ.

### Оформление отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать формулировку ее цели; расчетные зависимости АФЧХ САУ; результаты расчетов, сведенные в таблицы; построенную АФЧХ САУ для указанных случаев на одном графике; значение критического коэффициента передачи САУ; текст программы расчета; выводы об устойчивости САУ.

Таблица 6.1 – Варианты заданий для исследования устойчивости САУ с помощью критерия Найквиста

Варианты	$T_0$	$T$	$T_1$	$k$		
				<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
1	0.05	0.11	0.25	5	15	25
2	0.06	0.12	0.50	10	20	30
3	0.07	0.13	0.75	15	25	35
4	0.08	0.14	1.00	20	30	40
5	0.09	0.15	1.25	25	35	45
6	0.10	0.16	1.50	30	40	50
7	0.11	0.17	1.75	35	45	55
8	0.12	0.18	2.00	40	50	60
9	0.13	0.19	2.25	45	55	65
10	0.14	0.20	2.50	50	60	70
11	0.15	0.21	2.75	55	65	75
12	0.16	0.22	3.00	60	70	80
13	0.17	0.23	3.25	65	75	85
14	0.18	0.24	3.50	70	80	90
15	0.19	0.25	3.75	75	85	95
16	0.20	0.26	4.00	80	90	100
17	0.21	0.27	4.25	85	95	105
18	0.22	0.28	4.50	90	100	110
19	0.23	0.29	4.75	95	105	115
20	0.24	0.30	5.00	100	110	120

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аврамов В.П., Александров Е.Е. Основы автоматизации транспортных машин. – К.: Вища школа, 1986. – 87 с.
2. Александров Є.Є., Голуб О.П., Костенко Ю.Т. Теорія автоматичного управління: В 3 т. – Харків: ХДПУ, 2000. – Т.1. – 154 с.
3. Основы автоматизации і танкові автоматичні системи / Є.Є. Александров, І.В. Костяник, О.С. Куценко, О.Я. Ніконов / Під ред. Є.Є. Александрова. – Харків: НТУ «ХПІ», 2002. – 163 с.
4. Андрищенко В.А. Теория систем автоматического управления. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1990. – 256 с.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 767 с.
6. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости: В 10 т. / Под ред. Е.Е. Александрова. – Харьков: ХГПУ, 1996. – Т.2: Энергетические установки колесных и гусеничных машин. – 552 с. – Т.6: Електрообладнання і системи автоматизації транспортних засобів. – 208 с.

Навчальне видання

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу  
«Сучасна теорія управління»  
для студентів напрямку підготовки 6.050101  
«Комп'ютерні науки»

Укладач: О. С. НАЗАРОВ

Відповідальний за випуск О.О. Подоляка  
Редактор

План 2015, поз.

Підп. до друку \_\_\_\_\_ Формат 60x84 1/16.

Умовн. друк. арк. Облік.-вид. арк. \_\_\_\_

Замовлення № \_\_\_\_\_ Тираж \_\_\_\_ прим. Ціна договірна

---

ХНАДУ, 61002, м. Харків-МСП, вул. Петровського, 25

---

Свідоцтво державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції, серія ДК, №407

---

Підготовлено і надруковано видавництвом Харківського національного автомобільно-дорожнього університету