ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА

Кафедра Кибернетических систем

Типовые звенья систем автоматического управления

Методические указания к лабораторной работе №2 по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности 220201 – «Управление и информатика в технических системах» и направления 220200 – «Автоматизация и управление» (АиУб$_{\text{УИТС}}$) всех форм обучения

Тюмень

2008

Утверждено редакционно-издательским советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Составитель: Васькевич А.В.

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Теория автоматического управления» имеет целью изучение теоретических основ и методов анализа и синтеза объектов и систем автоматического управления. Освоение изучаемого курса позволит будущим специалистам самостоятельно решать такие задачи, стоящие перед инженерами по автоматизации, как расчет и настройка контуров регулирования и управления сложных технических систем.

Для закрепления теоретического материала и приобретения практических навыков студенту предлагается выполнить курс лабораторных работ, предусматривающий как практические задания, посвященные изучению математического описания систем управления, различных типовых звеньев и их характеристик, так и инженерные задачи, связанные с детальным анализом систем управления и, при необходимости, синтезом систем с использованием различных математических пакетов, в том числе и пакета MATLAB.

Разработанные методические указания предназначены для закрепления знаний о способах математического и графического описания звеньев систем автоматического управления. Основное внимание уделяется изучению различных типовых звеньев и их характеристик.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы приведены в конце методических указаний. Для облегчения выполнения работы в методических указаниях приведен пример расчета. С целью более глубокого изучения представленного материала студенту предлагается обратиться к учебным пособиям, список которых приведен в конце методических указаний.

Цель работы: изучить основные типовые звенья систем автоматического управления, научиться составлять передаточную функцию звена по его электрической схеме, находить выражения для построения временных и частотных характеристик.

1 Типовые звенья систем автоматического управления

Для расчета и анализа система автоматического управления разбивается на динамические звенья.

Опр.1: Динамическое звено – устройство любого физического вида и конструктивного оформления, описываемое дифференциальным уравнением.

В соответствии с этим классификация звеньев производиться именно по виду дифференциальных уравнений.

Обозначим входную переменную звена через сигнал $u(t)$, выходную – через $y(t)$ (рисунок 1).

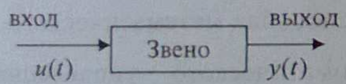


Рисунок 1 – Динамическое звено системы управления

В звеньях *позиционного, статического типа* входной и выходной сигналы в установившемся режиме связаны линейной зависимостью $y(t)=ku(t)$. Коэффициент пропорциональности k между входным и выходным сигналами представляет собой коэффициент передачи звена (в случае, если физическая природа сигналов различная, иначе – коэффициент усиления).

В звеньях *интегрирующего типа* линейной зависимостью $\frac{dy(t)}{dt}=ku(t)$ связаны производная выходного сигнала и входной сигнал в установившемся режиме.

В звеньях *дифференцирующего типа* линейной зависимостью $y(t)=k\frac{du(t)}{dt}$ в установившемся режиме связаны выходной сигнал и производная входного.

В таблице 1 приведены передаточные функции основных типовых звеньев.

Опр. 2: Под типовым звеном понимается такое звено, которое описывается дифференциальным уравнением не выше второго порядка.

Таблица 1 – Типовые звенья

№	Тип звена		Передаточная функция
1	Позиционные	Безынерционное	$W(p)=k$
2		Апериодическое 1-го порядка	$W(p)=\dfrac{k}{1+Tp}$
3		Апериодическое 2-го порядка	$W(p)=\dfrac{k}{1+T_1p+T_2^2p^2}$
4		Колебательное	$W(p)=\dfrac{k}{1+2\xi Tp+T^2p^2}$
5		Консервативное	$W(p)=\dfrac{k}{1+T^2p^2}$
6	Интегрирующие	Идеальное интегрирующее	$W(p)=\dfrac{k}{p}$
7		Интегрирующее с замедлением	$W(p)=\dfrac{k}{p(1+Tp)}$
8		Изодромное	$W(p)=\dfrac{k(1+Tp)}{p}$
9	Дифференцирующие	Идеальное дифференцирующее	$W(p)=kp$
10		Дифференцирующее с замедлением	$W(p)=\dfrac{kp}{1+Tp}$
11		Форсирующее	$W(p)=k(1+Tp)$
12	Звено с запаздыванием		$W(p)=ke^{-\tau p}$

2 Временные функции и характеристики

Для оценки динамических свойств звеньев используют *временные и частотные характеристики*. К временным характеристикам относятся графики переходной функции и импульсной переходной функции.

Опр. 3: Переходная функция, или переходная характеристика, $h(t)$ представляет собой переходный процесс на выходе звена, возникающий при подаче на его вход скачкообразного воздействия при величине скачка, равной единице. Такое входное воздействие называется *единичной ступенчатой функцией* или *функцией Хевисайда*, и обозначается $u(t) = 1(t)$:

$$1(t) = \begin{cases} 0, & \textbf{при } t \le 0, \\ 1, & \textbf{при } t > 0. \end{cases} \qquad (1)$$

График функции Хевисайда приведен на рисунке 2.

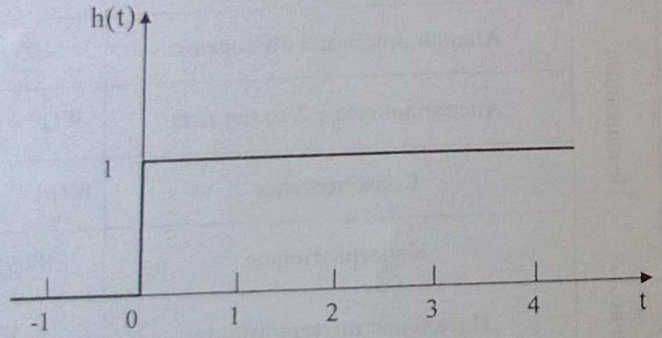


Рисунок 2 – Функция Хевисайда

Опр. 4: Импульсная переходная функция, или функция веса $w(t)$, представляет собой реакцию звена на единичную импульсную функцию, поданную на его вход. *Единичная импульсная функция*, или *дельта-функция* $\delta(t)$, представляет собой производную от единичной ступенчатой функции.

Дельта-функция тождественно равна нулю повсюду, кроме точки $t = 0$, где она стремится к бесконечности. Дельта-функция также называется *функцией Дирака* и определяется выражением:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & \textbf{при } t = 0, \\ 0, & \textbf{при } t \ne 0. \end{cases} \qquad (2)$$

График функции Дирака приведен на рисунке 3.

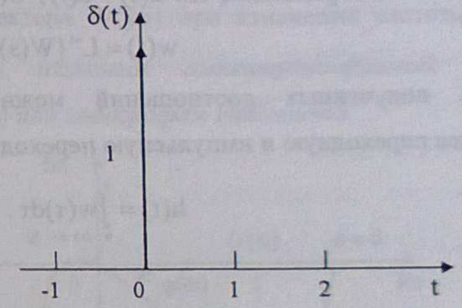


Рисунок 3 – Функция Дирака

Между передаточной функцией в изображениях Лапласа, переходной функцией и импульсной переходной функцией существует взаимнооднозначное соответствие [1].

Для звена, приведенного на рисунке 1, справедливо следующее соотношение:

$$Y(s) = W(s)U(s). \qquad (3)$$

Из определения переходной функции следует, что при подаче на вход звена сигнала $u(t) = 1(t)$, на выходе его будет сигнал $y(t) = h(t)$. Так как при этом $U(s) = L\{1(t)\} = 1/s$ и $Y(s) = L\{h(t)\}$, то из уравнения (3) получим:

$$L\{h(t)\} = W(s)\frac{1}{s}. \qquad (4)$$

Таким образом, по заданной передаточной функции звена с помощью обратного преобразования Лапласа можно найти выражение для переходной функции:

$$h(t) = L^{-1}\{W(s)\frac{1}{s}\}. \qquad (5)$$

Аналогичный вывод справедлив и для импульсной переходной функции с той лишь разницей, что $u(t) = \delta(t)$, $U(s) = L\{\delta(t)\} = 1$, тогда

$$w(t) = L^{-1}\{W(s)\}. \qquad (6)$$

Из полученных соотношений можно вывести выражение, связывающее переходную и импульсную переходную функции системы:

$$h(t) = \int_0^t w(\tau)d\tau. \qquad (7)$$

3 Частотные функции и характеристики

Важнейшей характеристикой динамического звена является его *частотная передаточная функция*. Частотная передаточная функция легко получается из обычной передаточной функции подстановкой $p = j\omega$, т.е.

$$W(j\omega) \equiv W(p)\big|_{p=j\omega} \qquad (8)$$

Частотная передаточная функция $W(j\omega)$ представляет собой комплексное число, модуль которого равен отношению амплитуды выходной величины к амплитуде входной, а аргумент – сдвигу фаз выходной величины по отношению к входной. Частотная передаточная функция может быть представлена в виде:

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = U(\omega) + jV(\omega), \qquad (9)$$

здесь

$A(\omega) = |W(j\omega)|$ – амплитудная частотная характеристика (АЧХ);

$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega)$ – фазовая частотная характеристика (ФЧХ);

$U(\omega) = \mathrm{Re}\, W(j\omega)$ – вещественная частотная характеристика (ВЧХ);

$V(\omega) = \mathrm{Im}\, W(j\omega)$ – мнимая частотная характеристика (МЧХ).

На комплексной плоскости частотная передаточная функция определяет вектор, длина которого равна $A(\omega)$, а аргумент равен углу $\varphi(\omega)$, образованному этим вектором с положительной действительной полуосью, что видно по рисунку 4. Годограф этого вектора, т.е. кривую, описываемую концом вектора $W(j\omega)$ при изменении частоты от 0 до ∞ или от $-\infty$ до $+\infty$, называют *амплитудно-фазовой частотной характеристикой* (АФХ) или *годографом Найквиста*.

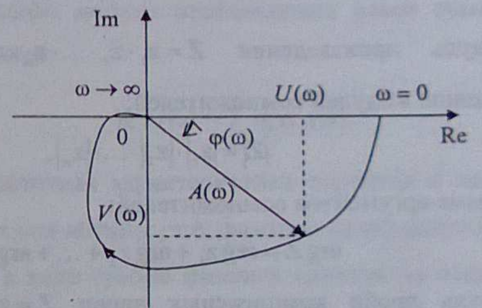


Рисунок 4 - Амплитудно-фазовая частотная характеристика

Для нахождения вещественной и мнимой частей частотной передаточной функции часто бывает необходимо освободиться от мнимой части в ее знаменателе. Для этого следует ее числитель и знаменатель умножить на сопряженный знаменателю множитель. Например, если

$$W(j\omega) = \frac{k}{(1+Tj\omega)},$$

то

$$W(j\omega) = \frac{k}{(1+Tj\omega)} = \frac{k}{(1+Tj\omega)}\cdot\frac{(1-Tj\omega)}{(1-Tj\omega)} = \frac{k(1-Tj\omega)}{1-(Tj\omega)^2} = \underbrace{\frac{k}{1+T^2\omega^2}}_{U(\omega)} - j\underbrace{\frac{T\omega}{1+T^2\omega^2}}_{V(\omega)}.$$

В общем случае амплитудная частотная характеристика имеет вид:

$$A(\omega)=\sqrt{U^2(\omega)+V^2(\omega)}\,, \qquad (10)$$

а фазовая частотная характеристика:

$$\varphi(\omega)=\operatorname{arctg}\frac{V(\omega)}{U(\omega)}+k\pi, \qquad k=0,\quad \pm1,\quad \pm2,\quad \ldots \qquad (11)$$

При построении частотных характеристик систем, состоящих из нескольких соединенных типовых звеньев, удобно пользоваться следующими правилами вычисления модуля и аргумента комплексных функций [1]:

1 модуль произведения $Z=z_1\cdot z_2\cdot\ldots\cdot z_n$ комплексных чисел равен произведению модулей сомножителей:

$$|Z|=|z_1|\cdot|z_2|\cdot\ldots\cdot|z_n|, \qquad (12)$$

а аргумент – сумме аргументов сомножителей:

$$\arg Z=\arg z_1+\arg z_2+\ldots+\arg z_n\,. \qquad (13)$$

2 модуль дроби комплексных чисел $Z=z_1/z_2$ равен дроби модулей:

$$|Z|=\frac{|z_1|}{|z_2|}, \qquad (14)$$

а аргумент – разности аргументов числителя и знаменателя:

$$\arg Z=\arg z_1-\arg z_2\,. \qquad (15)$$

При исследовании систем управления амплитудную и фазовую характеристики удобно строить в логарифмических координатах. При этом построение точных графиков логарифмических функций даже типовых звеньев требует достаточно трудоемких вычислений, поэтому на практике удобно пользоваться приближенными асимптотическими логарифмическими характеристиками.

Прологарифмируем выражение (9):

$$\ln W(j\omega)=\ln A(\omega)+j\varphi(\omega)\,. \qquad (16)$$

Из выражения (16) видно, что первое слагаемое определяет *логарифмическую амплитудную частотную характеристику* (ЛАЧХ), а второе – *логарифмическую фазовую частотную характеристику* (ЛФЧХ). ЛАЧХ строится в виде зависимости $20\lg A(\omega)$ от $\lg\omega$, а ЛФЧХ в виде зависимости $\varphi(\omega)$ от $\lg\omega$.

Использование логарифмических характеристик позволяет достаточно просто строить частотные характеристики системы, состоящей из нескольких звеньев, т.к. если прологарифмировать выражение (12) мы получим, что логарифм модуля произведения равен сумме логарифмов модулей сомножителей:

$$\lg A(\omega)=\sum_{i=1}^{n}\lg A_i(\omega)\,. \qquad (17)$$

Фазовая частотная характеристика строится в логарифмическом масштабе только по оси абсцисс, т.е. фазовый сдвиг цепочки звеньев и так получается просто в виде суммы фазовых сдвигов на отдельных звеньях, что видно из выражения (13).

На оси частот обычно указывают либо значение $\lg\omega$, тогда единицей приращения является одна *декада*, либо значение самой частоты ω.

Опр. 5: Интервал частот, отличающихся друг от друга в 10 раз называют декадой и обычно принимают за единицу логарифмического масштаба [2].

Как было отмечено ранее, для построения ЛАЧХ находится величина $20\lg A(\omega)$, которая обозначается $L(\omega)$ и выражается в децибелах. Децибел равен одной десятой бела.

Опр.6: Бел – логарифмическая единица, которая соответствует десятикратному увеличению мощности, т.е. 1 бел соответствует усиления мощности в 10 раз, 2 бела – в 100 раз и т.д. [2].

Проиллюстрируем порядок построения асимптотической ЛАЧХ на примере апериодического звена первого порядка с передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{k}{1+Tp}.$$

Запишем частотную передаточную функцию звена:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1+Tj\omega}.$$

Выделив реальную и мнимую части частотной передаточной функции, получим выражения для амплитудной и фазовой частотных характеристик:

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

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

Прологарифмируем выражение для амплитудной частотной характеристики:

$$L(\omega) = 20\lg k - 20\lg\sqrt{(T\omega)^2+1}.$$

Для простоты построения при $\omega \le 1/T$ пренебрегают слагаемым $T\omega$ под корнем, т.к. оно меньше единицы, а при $\omega > 1/T$ - единицей. Тогда выражение для асимптотической ЛАЧХ апериодического звена можно записать в виде:

$$L(\omega) \cong \begin{cases} 20\lg k \quad \textbf{при} \quad \omega \le 1/T, \\ 20\lg k - 20\lg T\omega \quad \textbf{при} \quad \omega > 1/T. \end{cases}$$

Опр. 7: Частоты, на которых асимптотические ЛАЧХ претерпевают излом, называются сопрягающими частотами [1].

Для построения асимптотической ЛАЧХ системы с произвольной передаточной функцией необходимо предварительно записать ее в следующем виде:

$$W(p) = \frac{k}{p^{\nu}}\prod_{i=1}^{n} W_i(p), \qquad (18)$$

где k - общий коэффициент усиления системы;

ν - *порядок астатизма* системы, который определяется числом идеальных интегрирующих звеньев в системе;

$W_i(p)$ - передаточная функция типового звена с единичным коэффициентом усиления, а n - число типовых звеньев.

Правило построения асимптотических ЛАЧХ:

1 записать передаточную функцию системы в виде соединения типовых звеньев согласно выражению(18);

2 вычислить величину начального усиления равную $20\lg k$;

3 определить все сопрягающие частоты и последовательно пронумеровать их;

4 отметить все сопрягающие частоты на оси абсцисс;

5 отметить точку ($\lg\omega = 0$; $L = 20\lg k$) на координатной плоскости;

6 через отмеченную точку провести первую асимптоту под наклоном $-\nu 20$ дБ/дек до первой частоты сопряжения;

7 следующая асимптота проводится от конца первой асимптоты до следующей частоты сопряжения под наклоном $\pm 20 \cdot a$ дБ/дек, при этом а определяет порядок звена, а знак зависит от того, в числителе или знаменателе соответственно находится множитель, содержащий частоту спряжения на конце данной асимптоты.

8 таким образом строятся последующие асимптоты: i-тая асимптота начинается от сопрягающей частоты ω_{i-1} до частоты ω_i, при этом наклон определяется частотой ω_{i-1}.

Последняя асимптота представляет собой прямую, которая начинается от частоты ω_n и уходит в бесконечность, при этом ее наклон будет соответствовать выражению $-20\cdot(d-b)$ дБ/дек, где d – порядок знаменателя передаточной функции, а b – порядок числителя. Конечный наклон асимптотической ЛАЧХ всегда будет отрицательный, что является следствием из правила физической реализуемости системы

4 Электрические цепи

Динамические звенья системы управления могут быть различными по своей физической природе: электрические, механические, гидравлические и т.д. Наиболее просто такие звенья могут быть составлены из электрических R-, C- и L-элементов, модели которых приведены на рисунке 5.

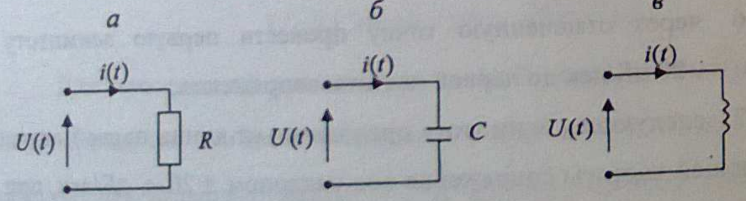


Рисунок 5 – Элементы электрических элементов

Уравнения электрической цепи составляются на основе законов Кирхгофа, представляющих собой условия непрерывности токов и равновесия напряжений:

1 сумма токов в любом узле равна нулю;

2 сумма напряжений в любом контуре равна нулю.

Уравнения электрической цепи:

– уравнение активного сопротивления R:

$$U(t) = i(t)R\,; \tag{19}$$

– уравнение конденсатора C:

$$i(t) = C\frac{dU(t)}{dt}, \tag{20}$$

где $i(t)$ – ток, протекающий через конденсатор;

– уравнение катушки L:

$$U(t) = L\frac{di(t)}{dt}, \tag{21}$$

где $i(t)$ – ток, протекающий через конденсатор.

5 Пример выполнения работы

На рисунке 6 приведена электрическая схема типового звена, где R=1.6 кОм, а C=2 мкФ.

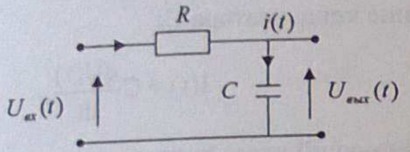


Рисунок 6 – Электрическая схема

Для заданной электрической схемы необходимо:

1 составить дифференциальное уравнение;

2 записать передаточную функцию;

3 определить по полученной передаточной функции тип звена или соединения звеньев;

4 найти выражения для построения временных характеристик, привести таблицы значений, построить временные характеристики;

5 найти выражения для построения частотных характеристик (АЧХ, ФЧХ, АФХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ), привести таблицы значений, построить частотные характеристики.

Решение.

В соответствии с первым законом Кирхгофа имеем:

$$i(t) = i_R(t) = i_C(t).$$

Второй закон для единственного контура запишется как:

$$U_R(t) + U_C(t) - U_{вх}(t) = 0.$$

Согласно выражениям (19) и (20) запишем:

$$U_R(t) = i_R(t)R, \qquad i_C(t) = C\frac{dU_C(t)}{dt}.$$

Напряжение на конденсаторе $U_C(t)$ является выходным напряжением, т.е. $U_C(t) = U_{вых}(t)$. Тогда, на основании полученных соотношений, запишем:

$$U_{вх}(t) = CpU_{вых}(t)R + U_{вых}(t),$$

где p - оператор дифференцирования.

Разделив выходное напряжение на входное мы получим выражение для передаточной функции звена:

$$W(p) = \frac{1}{Tp+1}, \text{ где } T = CR = 0.0032с.$$

Итак, по виду передаточной функции можно сделать вывод, что была приведена электрическая схема апериодического звена первого порядка.

Для нахождения переходной функции воспользуемся выражением (5).

$$H(s) = W(s)U(s) = \frac{1}{Ts+1}\cdot\frac{1}{s}$$

Для того чтобы найти оригинал $h(t)$ необходимо выражение для изображения $H(s)$ разбить на элементарные дроби и по таблице изображений Лапласа (приложение А) найти оригиналы элементарных дробей.

$$H(s) = \frac{A}{s} + \frac{B}{Ts+1}, \quad \begin{cases} A = 1, \\ B = -T. \end{cases}$$

Тогда выражение для переходной функции будет иметь вид:

$$h(t) = L^{-1}\left\{\frac{1}{s} - \frac{1}{s+1/T}\right\} = 1 - e^{-\frac{1}{T}t} = 1 - e^{-312.5t}.$$

Из полученного выражения для переходной функции в соответствии с выражением (7) получим:

$$w(t) = \frac{dh(t)}{dt} = 312.5e^{-312.5t}.$$

Составим таблицу значений и построим по ней временные характеристики звена.

t	h(t)	w(t)
0	0	312,5
0,001	0,268384371	228,6299
0,005	0,790388613	65,50356
0,01	0,956063066	13,73029
0,02	0,998069546	0,603267
0,1	1	8,38E-12
10	1	0

а *б*

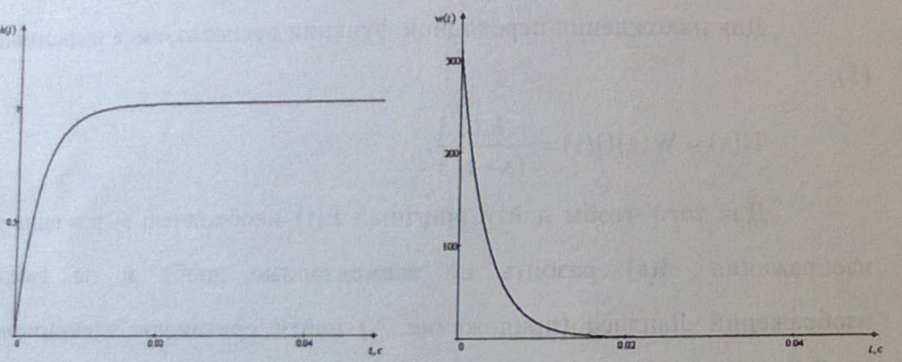


Рисунок 7 – Временные характеристики апериодического звена

Выражение для частотной передаточной функции:

$$W(j\omega) = \frac{1}{0.0032j\omega + 1}.$$

Для нахождения выражения для АЧХ и ФЧХ необходимо выделить реальную и мнимую части частотной передаточной функции:

$$W(j\omega) = \frac{1}{0.0032j\omega + 1} \cdot \frac{1 - 0.0032j\omega}{1 - 0.0032j\omega} = \frac{1}{1.024 \cdot 10^{-5}\omega^2 + 1} - j\frac{0.0032\omega}{1.024 \cdot 10^{-5}\omega^2 + 1}.$$

Согласно выражениям (10) и (11)

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{1 + (0.0032\omega)^2}}{1.024 \cdot 10^{-5}\omega^2 + 1} = \frac{1}{\sqrt{1.024 \cdot 10^{-5}\omega^2 + 1}},$$

$$\varphi(\omega) = -\mathrm{arctg}(0.0032\omega).$$

Составим таблицу значений и построим по ней частотные характеристики звена.

ω	A(ω)	φ(ω)
0	1	0
0,001	0,952424	-0,00018
0,01	0,298275	-0,00183
0,1	0,031235	-0,01833
0,2	0,015623	-0,03667
0,5	0,00625	-0,09167
1	0,003125	-0,18335
10	0,000312	-1,83284
100	3,12E-05	-17,7447
1000	3,12E-06	-72,646
10000	3,12E-07	-88,2101
1000000	3,13E-09	-89,9821

а *б*

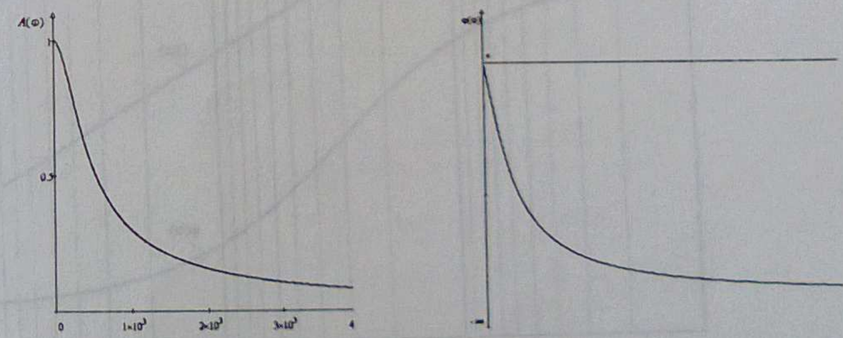


Рисунок 8 – Частотные характеристики апериодического звена

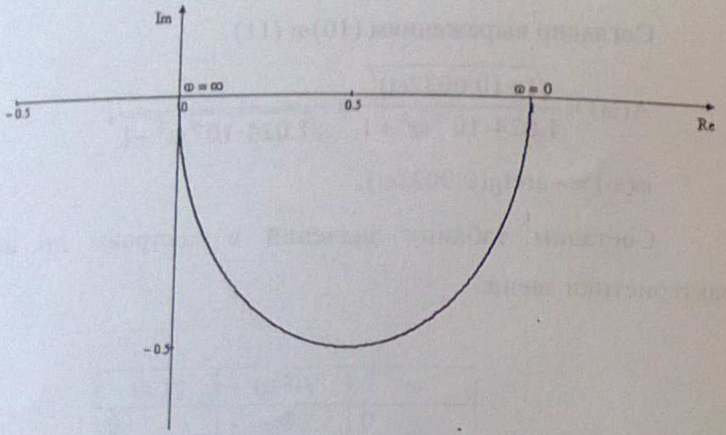


Рисунок 9 – Амплитудно-фазовая характеристика звена

Для построения ЛАЧХ необходимо определить следующие параметры:

$$20\lg k = 0 \text{ дБ},\ \nu = 0,\ \omega_1 = \frac{1}{0.0032} = 312.5 \text{ с}^{-1}.$$

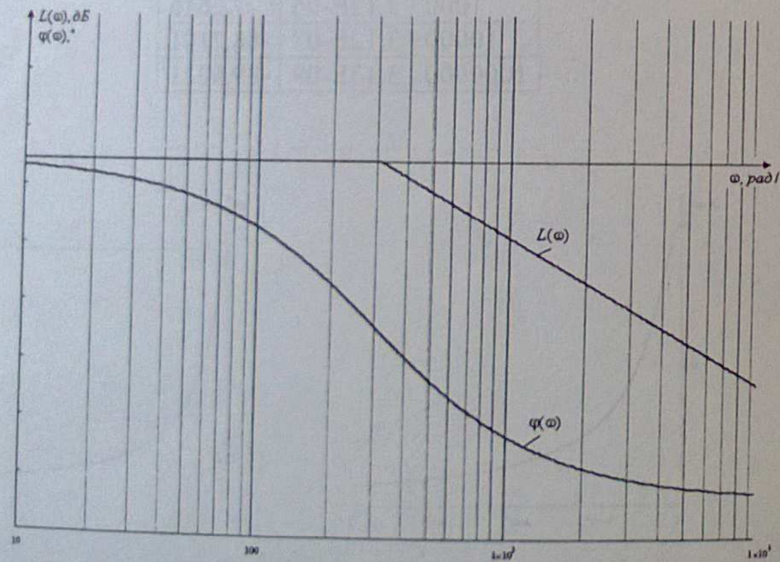


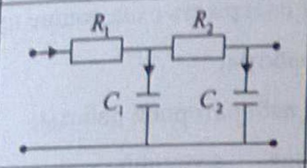
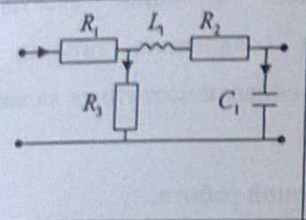
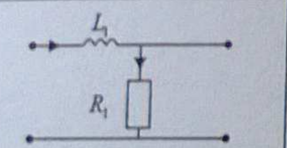
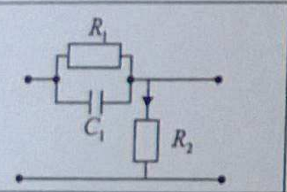
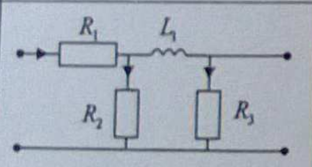
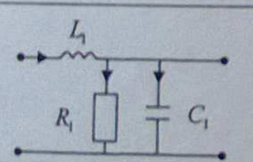
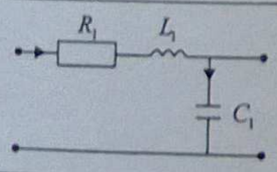
Рисунок 10 – Логарифмические частотные характеристики апериодического звена

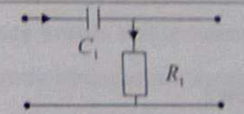
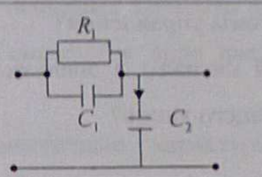
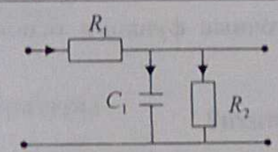
6 Требования к выполнению работы

Отчет должен быть выполнен в печатной или письменной форме на листах формата А4 и должен содержать следующие пункты:

- цель лабораторной работы;
- вариант задания для лабораторной работы;
- вывод передаточной функции электрической схемы, определения типа звена или соединения типовых звеньев, вывод выражений для построения временных и частотных характеристик;
- графики и таблицы;
- выводы по лабораторной работе.

7 Варианты заданий

№	Электрическая схема	Параметры
1		R_1 = 2.4 кОм, R_2 = 0.5 кОм, C_1 = 1 мкФ, C_2 = 2 мкФ,
2		R_1 = 1.5 кОм, R_2 = 2.5 кОм, C_1 = 4 мкФ, C_2 = 1 мкФ,
3		R_1 = 1 кОм, R_2 = 2 кОм, R_3 = 1.5 кОм, L_1 = 2 мГн, C_1 = 4 мкФ,
4		R_1 = 3.5 кОм, R_2 = 2.5 кОм, R_3 = 1 кОм, L_1 = 4 мГн, C_1 = 2 мкФ,
5		R_1 = 3.5 кОм, L_1 = 4 мГн,
6		R_1 = 2.5 кОм, L_1 = 2 мГн,
7		R_1 = 2 кОм, R_2 = 1.6 кОм, C_1 = 3 мкФ,
8		R_1 = 3.5 кОм, R_2 = 1.5 кОм, C_1 = 4 мкФ,
9		R_1 = 1.5 кОм, R_2 = 3.5 кОм, R_3 = 2 кОм, L_1 = 4 мГн,
10		R_1 = 2.5 кОм, R_2 = 1.6 кОм, R_3 = 3.5 кОм, L_1 = 3 мГн,
11		R_1 = 3.5 кОм, L_1 = 3 мГн, C_1 = 2 мкФ,
12		R_1 = 2.5 кОм, L_1 = 4 мГн, C_1 = 3 мкФ,
13		R_1 = 1.5 кОм, L_1 = 2 мГн, C_1 = 4 мкФ,
14		R_1 =3.5 кОм, L_1 = 3 мГн, C_1 = 2 мкФ,

15		R_1 = 3.5 кОм, C_1 = 2 мкФ,
16		R_1 = 1.6 кОм, C_1 = 4 мкФ,
17		R_1 = 2.4 кОм, C_1 = 4 мкФ, C_2 = 2 мкФ,
18		R_1 = 3.5 кОм, C_1 = 2 мкФ, C_2 = 5 мкФ,
19		R_1 = 2.5 кОм, R_2 = 1.6 кОм, C_1 = 3 мкФ,
20		R_1 = 4.6 кОм, R_2 = 2.5 кОм, C_1 = 2 мкФ,

7 Вопросы по работе

1 Что называется динамическим звеном?
2 Как классифицируются звенья системы управления?
3 Как связаны входной и выходной сигналы в звеньях позиционного, интегрирующего и дифференцирующего типов?
4 Что называется типовым звеном?
5 Перечислите и приведите передаточные функции основных типовых звеньев систем управления?
6 Перечислите временные характеристики?
7 Что называется переходной функцией?
8 Что называется импульсной переходной функцией?
9 Как связаны переходная и импульсная переходная функции?
10 Что называется частотной передаточной функцией?
11 Перечислите все частотные характеристики системы?
12 Как находится амплитудная частотная характеристика системы по заданной передаточной функции?
13 Как находится фазовая частотная характеристика системы по заданной передаточной функции?
14 Перечислите правила вычисления модуля и аргумента комплексных функций?
15 Что называется логарифмической амплитудной и фазовой частотной характеристикой?
16 Как строится логарифмическая амплитудная и фазовая частотная характеристика?
17 Что называется декадой?
18 Какую единицу измерения называют Бел?
19 Что называется сопрягающей частотой? Как она находится?
20 Что называется порядком астатизма? Как он определяется?

21 Перечислите все этапы построения асимптотической ЛАЧХ?
22 Как составляются уравнения электрической цепи?
23 Перечислите основные элементы электрической цепи?
24 Представьте систему в виде последовательного соединения типовых звеньев?
25 Постройте частотные характеристики для заданного соединения типовых звеньев?

8 Список литературы

1 Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
2 Андрющенко В.А. Теория систем автоматического управления. Учеб. пособие. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1990. – 256 с.
3 Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. Учебн. пособие для электротехн. специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.
4 Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 560 с.
5 Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Изд-во: Лаборатория Базовых Знаний, 2001 – 616 с.

Таблица А.1 – Изображения Лапласа

№	Оригинал $x(t)$	Изображение $X(s)$
1	$\delta(t)$	1
2	$1(t)$	$\frac{1}{s}$
3	$1(t-\tau)$	$\frac{1}{s}e^{-\tau s}$
4	t	$\frac{1}{s^2}$
5	t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
6	$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{s+\alpha}$
7	$t \cdot e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{(s+\alpha)^2}$
8	$t^n \cdot e^{-\alpha t}$	$\frac{n!}{(s+\alpha)^{n+1}}$
9	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$
10	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2+\omega^2}$
11	$e^{-\alpha t} \sin \omega t$	$\frac{\omega}{(s+\alpha)^2+\omega^2}$
12	$e^{-\alpha t} \cos \omega t$	$\frac{s+\alpha}{(s+\alpha)^2+\omega^2}$

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К лабораторной работе №2 по дисциплине «Теория автоматического управления» для студентов специальности 220201 – «Управление и информатика в технических системах» и направления 220200 – «Автоматизация и управление» (АиУб$_{\text{уитс}}$) всех форм обучения

Составитель: Васькевич А.В.

Подписано к печати 9.12.08г

Заказ № 781

Формат 60x90 1/16

Отпечатано RISO GR 3750

Бум.ГОЗНАК

Уч. изд. л. 1,8

Усл. печ. л. 1,68

Тираж 100 экз.

Издательство

Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования

«Тюменский государственныйнефтегазовый университет»

625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Отдел оперативной полиграфии издательства

625039, г. Тюмень, ул. Киевская, 52