МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
____________ О.Г. Локтионова
« 24 » 06 __________ 2024 г.

ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Методические указания по выполнению лабораторных
работ для студентов направления подготовки 11.03.03

Курск 2024

Эл. верс.

УДК 681.51.01

Составитель Т.А. Ширабакина

Рецензент
Доктор технических наук, профессор *И.Е. Чернецкая*

Основы управления техническими системами: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 11.03.03/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Т.А. Ширабакина.- Курск, 2024. –22 с.: ил.5, табл.4. – Библиогр.: с.22

Методические указания по выполнению лабораторных работ являются дополнением к конспекту лекций «Основы управления техническими системами» и содержат сведения, необходимые для выполнения работ.

Методические указания соответствуют рабочей программе дисциплины и Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования направления подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств.

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.03 очной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 24.06.24 Формат
Усл.печ.л. 1,32 . Уч.-изд.л. 1,2 . Тираж 100 Заказ 671 Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

В результате изучения дисциплины должны сформироваться представления о принципах функционирования, пределах устойчивости и качества технических систем, о взаимодействии объектов управления, элементов и технических средств автоматизации и человека, о перспективах развития теории и систем управления в различных областях науки, техники и производства. Технические средства, используемые для создания систем управления, в последнее время достигли значительного прогресса. Поэтому важное значение имеет знание областей применимости используемых методик и характеристик, их взаимной связи, их связи с классическими методами теории автоматических систем.

Целью выполнения лабораторных работ является рассмотрение вопросов, касающихся анализа и синтеза автоматических систем, обеспечивающих требования, предъявляемые в техническом задании на конкретную систему.

1 МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Элементы АС, рассматриваемые с точки зрения их поведения в статическом и динамическом режимах, называются *звеньями*.

Типовое звено - это элемент, обладающий определенными динамическими свойствами, определяемыми формой переходного процесса Y при подаче на вход скачкообразного воздействия x(t) [1,2].

В зависимости от формы переходного процесса $Y(t)$ при подаче на вход скачкообразного воздействия $x(t)$ или от вида передаточной функции различают следующие типы динамических звеньев: идеальное усилительное звено (пропорциональное, безинерционное); апериодическое звено первого порядка (инерционное); интегрирующее звено (идеальное, реальное); дифференцирующее звено (идеальное, реальное) и др.

Целью работы является изучение влияния параметров инерционных типовых линейных звеньев (апериодического, реального интегрирующего, реального дифференцирующего звеньев) на вид их частотных характеристик (ЧХ).

Частотная передаточная функция апериодического звена первого порядка равна

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

Следовательно, вещественные и мнимые частотные характеристики, амплитудная и фазовая частотные характеристики звена соответственно равны

$$U(\omega) = \frac{k}{T^2\omega^2 + 1}; \qquad V(\omega) = -\frac{kT\omega}{T^2\omega^2 + 1};$$

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

Частотная передаточная функция реального интегрирующего звена равна

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

Вещественная и мнимая частотные характеристики звена равны:

$$U(\omega) = -\frac{kT}{T^2\omega^2+1}; \qquad V(\omega) = -\frac{k}{\omega\left(T^2\omega^2+1\right)}.$$

В соответствии с этим амплитудная частотная характеристика, фазовая частотная характеристика записываются в следующем виде

$$A(\omega) = \frac{k}{\omega\sqrt{T^2\omega^2+1}} \quad . \qquad \varphi(\omega) = \begin{cases} -90^0 - \mathrm{arctg}(T\omega) \text{ при } \omega > 0 \\ 90^0 - \mathrm{arctg}(T\omega) \text{ при } \omega < 0 \end{cases}$$

.

Амплитудно-фазовая частотная характеристика реального дифференцирующего звена равна

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

Мнимая и вещественная частотные характеристики звена описываются выражениями:

$$U(\omega) = \frac{k \cdot T\omega^2}{T^2\omega^2+1}; \qquad V(\omega) = \frac{k\omega}{T^2\omega^2+1}.$$

Отсюда амплитудная и фазовая частотные характеристики

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

$$\varphi(\omega) = \mathrm{arctg}\frac{1}{T\omega} \quad .$$

Задание. Исследовать влияние параметров на вид ЧХ:

1) влияние постоянной времени. Для этого получить графики ЧХ при пяти значениях постоянных времени из заданного диапазона (таблица 1) и одном и том же значении коэффициента усиления;

2) влияние коэффициента усиления. Для этого получить графики ЧХ при пяти значениях коэффициента усиления и одном и том же значении постоянной времени;

3) нарисовать асимптотическую ЛАЧХ: при двух значениях постоянных времени и одном и том же значении коэффициента усиления; при двух значениях коэффициента усиления и одном и том же значении постоянной времени.

Таблица 1 - Исходные данные

№ варианта	Диапазон изменения параметров звеньев	
	Коэффициент k	Постоянная времени T
1	0,5…2,5	2…10

№ варианта	Диапазон изменения параметров звеньев	
	Коэффициент k	Постоянная времени T
2	2,7…5,7	1…10
3	4,8…8,8	3,1…10
4	0,9…2,9	3,2…10
5	0,1…3,0	4…10
6	0,2…2,1	4,5…10
7	0,3…2,2	5…10
8	0,4…2,3	5,5…10
9	0,5…2,4	6…10
10	0,6…2,5	4,3…10
11	0,7…2,6	3…10
12	0,8…2,7	2…10
13	0,9…2,8	2,5…10
14	1…2,9	4,4…10
15	1,1…3,5	3,2…10

Контрольные вопросы

1. Приведите определение частотной передаточной характеристики, амплитудно-частотной характеристики, фазовой частотной характеристики типового звена.
2. Запишите формулы амплитудно-частотной характеристики, фазовой частотной характеристики апериодического звена первого порядка.
3. Приведите формулы амплитудно-частотной характеристики, фазовой частотной характеристики реального интегрирующего звена.
4. Запишите формулы амплитудно-частотной характеристики, фазовой частотной характеристики реального дифференцирующего звена.
5. Дайте определение логарифмической амплитудно-частотной характеристики. Запишите формулу.
6. Поясните построение асимптотической логарифмической амплитудно-частотной характеристики.

2 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При решении задач анализа или синтеза систем управления, определения качества систем широко используются логарифмические частотные характеристики.

Анализ устойчивости систем с помощью критерия Найквиста подробно описан в [1,2,3]. Частотный критерий устойчивости Найквиста позволяет выполнить анализ устойчивости и оценку качества систем с использованием логарифмических частотных характеристик разомкнутой системы. Если система неустойчива, то критерий Найквиста позволяет выполнить синтез корректирующих устройств по достижению устойчивости.

Основные сведения об устойчивости систем рассмотрены на лекциях и изучены на практических занятиях. Правила построения логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) и логарифмической фазовой частотной характеристики (ЛФЧХ) рассмотрены ранее на практическом занятии, посвященном частотным характеристикам систем.

Критерий устойчивости Найквиста: линейная динамическая система, устойчивая в разомкнутом состоянии, устойчива и в замкнутом состоянии, если АФЧХ разомкнутой системы $W_{pc}(j\omega)$ при изменении частоты от 0 до ∞ не охватывает на комплексной плоскости точку с координатами (-1; j0) (рисунок 1, годограф 2).

Более общая формулировка критерия Найквиста относится к системам, имеющим так называемую АФЧХ второго рода (рисунок 1, годограф 1), когда $W_{pc}(j\omega)$ пересекает (неограниченное количество раз) вещественную ось левее точки $\mathrm{Re}\, W_{pc}(\omega) = -1$.

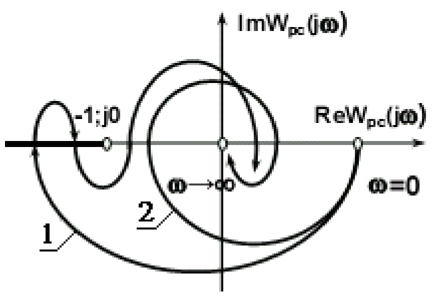


Рисунок 1 – Амплитудно-фазовые частотные характеристики разомкнутой системы

Для таких годографов критерий Найквиста формулируется в следующем виде: линейная динамическая система, устойчивая в разомкнутом состоянии, устойчива и в замкнутом состоянии, если при изменении частоты от 0 до $+\infty$ разность между числом положительных переходов годографа АФЧХ разомкнутой системы через участок вещественной оси (-1; $-\infty$) и числом отрицательных переходов равна нулю.

При этом положительным переходом годографа через вещественную ось считается переход, если он совершается сверху вниз, и отрицательным, если он совершается снизу вверх.

При работе с логарифмическими частотными характеристиками в общем случае наиболее удобно использовать форму критерия, основанную на подсчете переходов ЛФЧХ $\varphi(\omega)$ через горизонтальную ось на участках, где ЛАЧХ $L(\omega)$ больше 0 (критические участки). Положительным является переход в направлении увеличения значений $\varphi(\omega)$, т.е. сверху вниз, отрицательным – переход в обратном направлении. Поскольку логарифмические частотные характеристики строятся для положительных частот, критерий устойчивости сводится к соблюдению равенства

$$n(+) - n(-) = l/2,$$

где $n(+)$ – количество положительных переходов, $n(-)$ – количество отрицательных переходов, l – количество корней знаменателя передаточной функции разомкнутой системы, лежащих в правой полуплоскости (рисунок 2).

Для частного случая $l = 0$ (система устойчива или нейтрально устойчива в разомкнутом состоянии). В этом случае замкнутая система является устойчивой, если разность между количествами положительных и отрицательных переходов ЛФЧХ через критический участок горизонтальной оси равна нулю.

Для систем, нейтрально устойчивых в разомкнутом состоянии (знаменатель передаточной функции содержит нулевые или мнимые корни), применение критерия Найквиста предусматривает необходимость дополнения ЛФЧХ вертикальными отрезками:

- для нулевого корня кратности n от уровня $\varphi(\omega) = 0$ до $\varphi(\omega) = -n\pi/2$ на частоте $\omega \to 0$;
- для мнимого корня также в отрицательном направлении (вверх) на π, т.е. в пределах разрыва ЛФЧХ на частоте, соответствующей этому корню.

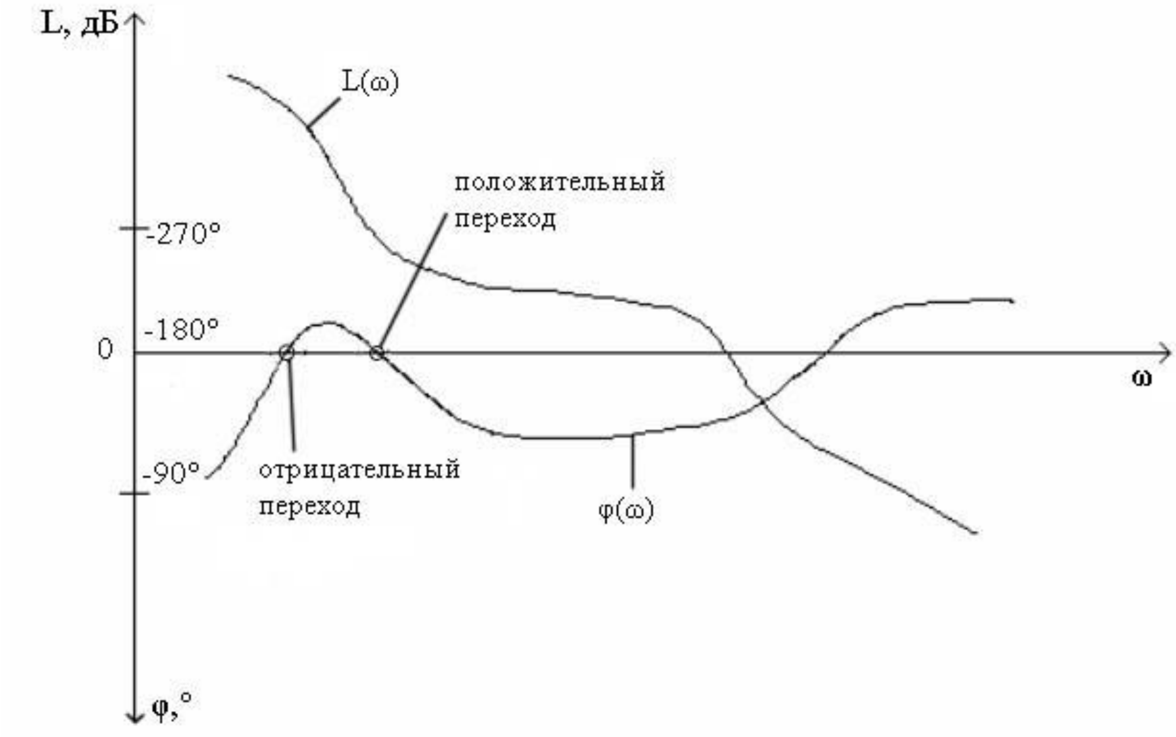


Рисунок 2 – Логарифмические частотные характеристики

При подсчете количества переходов дополняющие отрезки рассматриваются как составные части ЛФЧХ.

Пример. Выполнить анализ устойчивости системы с передаточной функцией

$$W = \frac{k(1+Tp)2}{p3};$$

и логарифмическими частотными характеристиками (рисунок 3). В этом случае $l = 0$, $r = 3$. ЛФЧХ должна быть дополнена при $\omega \to 0$ отрезком от $\varphi(\omega) = 0$ до $\varphi(\omega) = -3\pi/2$, показанным пунктирной линией. Это дополнение обеспечивает отрицательный переход ЛФЧХ через горизонтальную ось, который для устойчивости замкнутой системы должен быть скомпенсирован положительным переходом на критическом участке горизонтальной оси $(0;\ \omega_2)$. В результате приходим к условию устойчивости: $L(\omega_1) > 0$, где частота ω_1 определяется из условия $\varphi(\omega_1) = -\pi$.

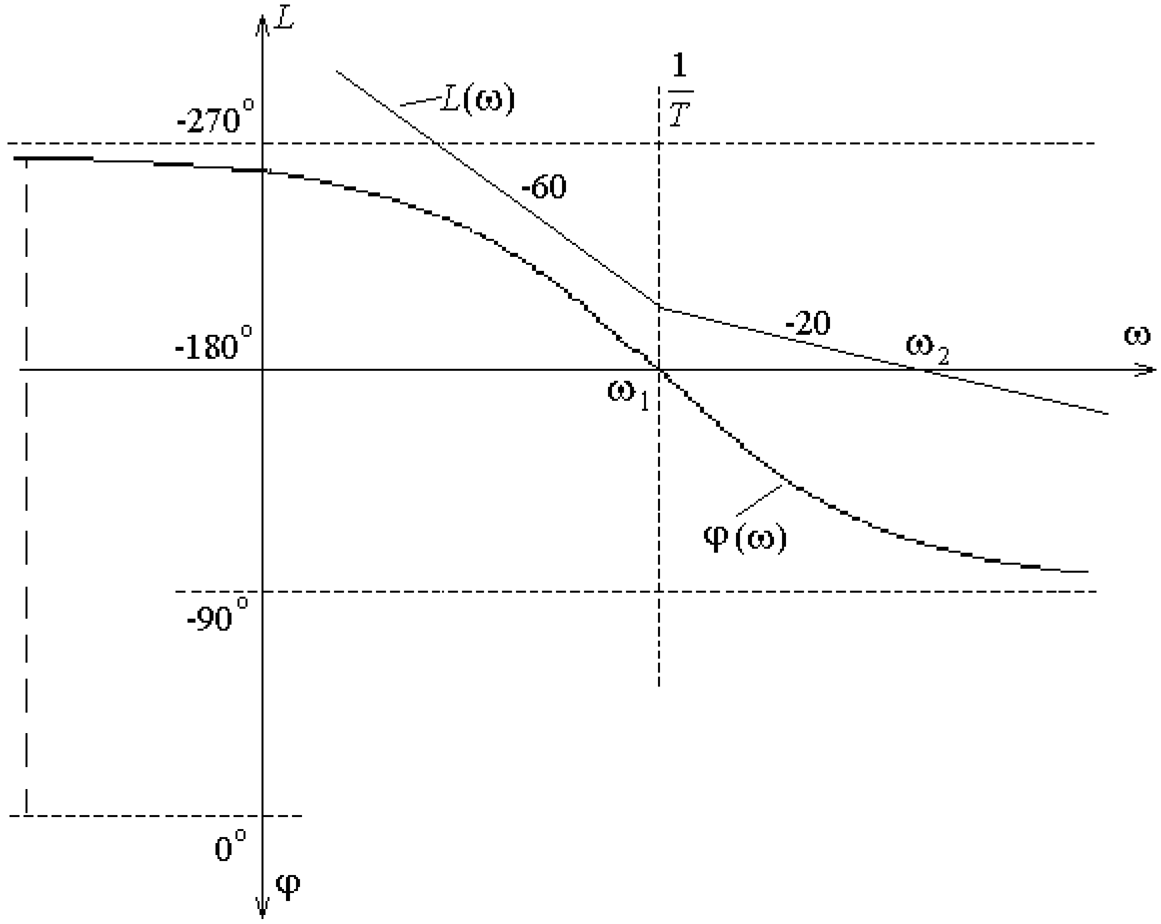


Рисунок 3 – Логарифмические частотные характеристики системы

Представленные логарифмические характеристики позволяют сделать вывод об устойчивости рассматриваемой системы.

По характеру устойчивости линейных систем различают абсолютно и условно устойчивые системы. Устойчивую линейную систему, которая может утратить устойчивость за счет снижения коэффициента передачи, называют условно устойчивой. Все остальные устойчивые линейные системы абсолютно устойчивы.

Изменение коэффициента передачи разомкнутой системы не влияет на ее ЛФЧХ, но приводит к плоско-параллельному смещению ее ЛАЧХ. При увеличении коэффициента передачи ЛАЧХ смещается вверх, при уменьшении – вниз.

Уменьшение коэффициента передачи рассматриваемой системы приводит к уменьшению частоты среза ω_2 (см. рисунок 3). При совпадении точек пересечения ЛАЧХ и ЛФЧХ с горизонтальной осью ($\omega_2=\omega_1$) будет достигнута граница устойчивости. Соответствующее значение коэффициента передачи называется критическим ($k = k_{кр}$). При дальнейшем уменьшении коэффициента передачи точка положительного перехода (отметка частоты ω_1) выйдет за пределы критического участка, и система потеряет устойчивость.

Таким образом, рассмотренная система является условно устойчивой.

Как следствие данных рассуждений отметим, что при $l = 0$ применение критерия Найквиста с использованием логарифмических частотных характеристик может быть сведено к сравнению значений двух частот, на которых характеристики пересекают горизонтальную ось: ω_1 для ЛФЧХ
$\varphi(\omega_1) = -\pi$ и частоты среза для ЛАЧХ $L(\omega_2) = 0$.

Если ЛФЧХ пересекает горизонтальную ось снизу вверх (в отрицательном направлении), то для устойчивости замкнутой системы достаточно выполнения неравенства $\omega_1 > \omega_2$ (отрицательный переход за пределами критического отрезка). Это условие абсолютной устойчивости замкнутой системы.

Если ЛФЧХ пересекает горизонтальную ось сверху вниз (в положительном направлении), получаем условие условной устойчивости замкнутой системы: $\omega_1 < \omega_2$.

При совпадении ω_1 и ω_2 имеем колебательную границу устойчивости.

Для устойчивых систем определяются показатели качества. В данной работе рассматриваются два из них – запасы устойчивости по амплитуде и по фазе. Запас устойчивости по амплитуде – величина, показывающая во сколько раз необходимо изменить, т.е. увеличить или уменьшить коэффициент передачи устойчивой системы, чтобы перевести эту систему на границу устойчивости. Запас устойчивости по амплитуде для устойчивой системы должен быть больше единицы. Кроме того, он может измеряться в децибелах и для устойчивой системы принимать только положительные значения.

Для абсолютно устойчивой системы запас устойчивости по амплитуде может быть найден по соотношению $U_1 = k_{кр}/ k$, где k – фактическое значение коэффициента передачи. Значение запаса устойчивости в децибелах $L_a = 20\lg U_1$ может быть найдено по логарифмическим характеристикам как расстояние от ЛАЧХ до горизонтальной оси на частоте ω_1 (рисунок 4, *а*).

Для условно устойчивой системы при определении запаса устойчивости по амплитуде следует использовать соотношение $U_1 = k/ k_{кр}$.
Соответствующее значение в децибелах $L_a = 20\lg U_2$ определяется аналогично (рисунок 4, *б*).

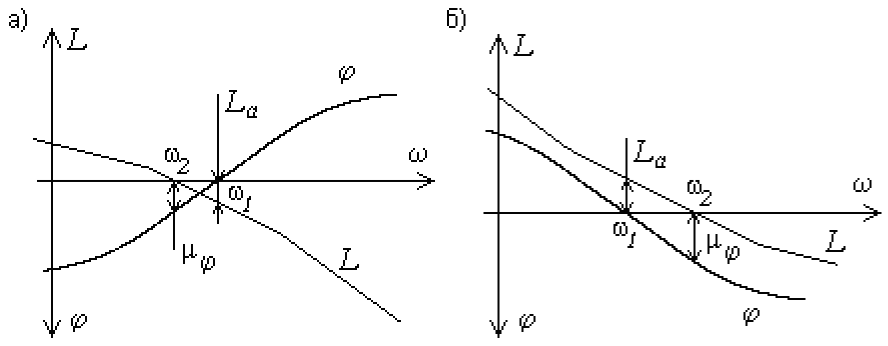


Рисунок 4 – Определение запасов устойчивости

Запас устойчивости по фазе μ_φ показывает, какой по абсолютной величине дополнительный отрицательный фазовый сдвиг нужно добавить к фазовому сдвигу, обеспечиваемому разомкнутой системой, чтобы перевести устойчивую замкнутую систему на границу устойчивости. Он может быть найден по соотношению: $\mu_\varphi = 180° + \varphi(\omega_2)$ и для устойчивой системы должен быть положительным, что имеет место в случаях, когда ЛФЧХ на частоте среза проходит ниже горизонтальной оси. Тогда графически запас устойчивости по фазе определяется как расстояние от ЛФЧХ до горизонтальной оси на частоте среза (см. рисунок 4).

В качестве универсального способа проверки устойчивости можно использовать проверку знака выражения $\mu_\varphi = 180° + \varphi(\omega_2)$. Для устойчивой системы $\mu_\varphi > 0$; при $\mu_\varphi < 0$ система неустойчива; при $\mu_\varphi = 0$ имеет место граница устойчивости.

Для неустойчивой системы практический интерес представляет возможность обеспечения устойчивости. Если частоты, соответствующие точкам пересечения с горизонтальной осью ЛФЧХ ω_1 и ЛАЧХ ω_2 для рассматриваемой системы, существуют, то неустойчивую систему можно перевести на границу устойчивости ($\omega_1 = \omega_2$) путем уменьшения или увеличения коэффициента передачи (соответственно смещая ЛАЧХ вверх или вниз). Дальнейшее смещение ЛАЧХ обеспечит устойчивость такой системы.

Направление требуемого смещения ЛАЧХ нетрудно определить по графикам. Если для достижения границы устойчивости ЛАЧХ необходимо поднять на расстояние ΔL, это будет соответствовать увеличению коэффициента передачи в $10^{\Delta L/20}$ раз, и критическое значение коэффициента передачи составит $k_{кр}$ = k x $10^{\Delta L/20}$, где *k* – исходное значение, ΔL – расстояние от ЛАЧХ до горизонтальной оси на частоте ω_1.

Если для достижения границы устойчивости ЛАЧХ необходимо опустить на расстояние ΔL , это будет соответствовать уменьшению коэффициента передачи в $10^{\Delta L/20}$ раз, и критическое значение коэффициента передачи составит $k_{кр}$ = k / $10^{\Delta L/20}$.

При решении задач анализа или синтеза системы управления с применением логарифмических частотных характеристик большое значение
имеет возможность использования асимптотической ЛАЧХ, так как ее построение и расчеты на ее основе выполнять удобнее и проще по сравнению с точной характеристикой.

Задание

Проверить устойчивость системы по ЛАЧХ и ЛФЧХ, установить характер устойчивости (абсолютная или условная), определить запасы устойчивости системы и критический коэффициент усиления системы, передаточная функция которой равна

$$W(p) = \frac{K}{p(1+T_g p)(1+T_y p)} ,$$

где *K* – коэффициент передачи; T_g, T_y - постоянные времени звеньев, входящих в систему.

Параметры звеньев приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные

№ варианта	Параметры звеньев		
	K	T_g	T_y
1	15	0,02	0,003
2	20	0,03	0,004
3	25	0,04	0,005
4	30	0,05	0,006
5	35	0,06	0,007
6	40	0,07	0,002
7	45	0,08	0,001
8	50	0,09	0,008
9	55	0,1	0,009
10	60	0,2	0,0018
11	65	0,6	0,0019

12	70	0,7	0,0002
13	75	0,8	0,003
14	80	0,9	0,004
15	85	0,3	0,003
16	90	0,4	0,004
17	95	0,05	0,0035
18	100	0,01	0,0045
19	105	0,025	0,0035
20	110	0,035	0,0045
21	115	0,045	0,0055
22	120	0,055	0,0065
23	125	0,085	0,0075
24	130	0,065	0,0085
25	135	0,075	0,0095

Контрольные вопросы

1. Какие характеристики системы используются для анализа устойчивости замкнутой системы с помощью критерия Найквиста?
2. Сформулируйте правила совместного построения ЛАЧХ и ЛФЧХ.
3. Что такое отрицательный и положительный переходы ЛФЧХ?
4. Что такое критический коэффициент передачи?
5. Как определить, находится ли система на границе устойчивости по графикам ЛАХ и ЛФЧХ?
6. Что такое частота среза?
7. Что такое запас устойчивости по амплитуде и как он определяется по логарифмическим частотным характеристикам?
8. Что такое запас устойчивости по фазе и как он определяется по логарифмическим частотным характеристикам?
9. Сформулируйте определение абсолютно и условно устойчивой системы.
10. Как рассчитать значение критического коэффициента передачи по логарифмическим частотным характеристикам?
11. Что такое качество системы и чем оно определяется.
12. Перечислите показатели качества системы.

3 КОРРЕКЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ. ЭЛЕМЕНТЫ СИНТЕЗА

Коррекция систем управления является важным моментом их проектирования [1,2]. Стремление обеспечить высокую точность процесса управления приводит к необходимости увеличения коэффициента усиления, что неизбежно приводит к снижению запасов устойчивости и даже к потере системой устойчивости. Кроме того, система может содержать неустойчивые, интегрирующие и консервативные звенья, являющиеся причиной структурной неустойчивости одноконтурных систем. Обеспечение устойчивой работы систем управления с удовлетворительными показателями качества включением дополнительных специальных устройств называется *коррекцией*, а сами дополнительные специальные устройства – *корректирующими.*

Требуемое быстродействие обеспечивается при проектировании системы выбором соответствующих элементов цепи регулирования (исполнительных элементов, усилителей, серводвигателей и т.п.). Однако повышение быстродействия системы возможно также применением корректирующих устройств.

Корректирующие устройства представляют собой динамические звенья различной физической природы и включаются в состав системы регулирования:

1. Последовательно (включают последовательно с усилительно–преобразующим устройством и объектом регулирования);
2. Параллельно (включают параллельно усилительно–преобразующему устройству);
3. В цепи обратной связи (включают встречно–параллельно, охватывая усилительно–преобразующие устройства в качестве элемента местной обратной связи).

В соответствии со способом включения различают последовательные и параллельные корректирующие устройства. Последовательные корректирующие устройства включают в цепь сигнала ошибки системы регулирования, а параллельные корректирующие звенья – в цепи местных обратных связей.

Задание

В данной работе необходимо синтезировать последовательное корректирующее устройство с помощью частотных методов. Построенная в предыдущей работе логарифмическая амплитудно-частотная характеристика используется в качестве исходной характеристики. Данные для построения желаемой логарифмической амплитудно-частотной характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры для расчета

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{пп}$, с	0,02	0,15	0,25	0,05	0,01	0,005	0,004	0,002	0,015	0,025

Далее путем вычитания одного графика из другого получить логарифмическую характеристику корректирующего устройства.

Используя восстановленную передаточную функцию исследуемой системы, построить переходный процесс, по графику которого определить время переходного процесса и перерегулирование.

Контрольные вопросы

1. Приведите определение корректирующего устройства.
2. Чем отличается последовательное корректирующее звено от параллельного корректирующего звена?
3. Перечислите основные этапы методики синтеза корректирующего звена.

3 УСТОЙЧИВОСТЬ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Для исследования устойчивости нелинейных систем используется *частотный критерий Попова В. М.*: для абсолютной устойчивости системы с нелинейностью в угле (0, k) и устойчивой линейной частью с АФЧХ $W_л(j\omega)$ достаточно, если через точку (-1/k; 0j) можно провести хотя бы одну прямую линию, не пересекающуюся с видоизмененной характеристикой линейной части системы $W_{лв}(j\omega)$. [1,2,3].

Видоизмененная характеристика линейной части определяется следующим образом. Если АФЧХ линейной части равна:

$$W_л(j\omega) = U_л(\omega) + jV_л(\omega),$$

то видоизмененная характеристика запишется как:

$$W_{лв} = U_л(\omega) + j\omega V_л(\omega) .$$

Задание. Определить устойчивость нелинейной системы, статическая характеристика которой находится в угле (0,k), передаточная функция линейной части которой равна

$$W(p) = \frac{K}{(1+T_g p)(1+T_y p)} \quad ,$$

где K – коэффициент передачи линейной части; T_g, T_y - постоянные времени звеньев, входящих в систему.

Параметры звеньев и коэффициент k приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные

№ варианта	k	Параметры звеньев		
		K	T_g	T_y
1	0,1	15	0,02	0,003
2	0,2	20	0,03	0,004
3	0,3	25	0,04	0,005
4	0,4	30	0,05	0,006
5	0,5	35	0,06	0,007
6	0,6	40	0,07	0,002
7	0,7	45	0,08	0,001
8	0,8	50	0,09	0,008
9	0,8	55	0,1	0,009
10	1,0	60	0,2	0,0018
11	0,1	65	0,6	0,0019
12	0,2	70	0,7	0,0002
13	0,3	75	0,8	0,003
14	0,4	80	0,9	0,004
15	0,5	85	0,3	0,003
16	0,6	90	0,4	0,004
17	0,7	95	0,05	0,0035
18	0,8	100	0,01	0,0045
19	0,8	105	0,025	0,0035
20	1,0	110	0,035	0,0045
21	2,5	115	0,045	0,0055
22	3,0	120	0,055	0,0065
23	3,5	125	0,085	0,0075
24	4,0	130	0,065	0,0085
25	4,5	135	0,075	0,0095

Контрольные вопросы

1. Приведите определение нелинейной системы.
2. Перечислите особенности нелинейных систем.

3. Сформулируйте критерий Попова.
4. Запишите формулу видоизмененной частотной характеристики.
5. Приведите особенности видоизмененной АФЧХ системы.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ

Анализ дискретной системы включает определение характера и степени устойчивости системы, параметров переходного процесса, точности установившегося режима. Определение устойчивости дискретных систем имеет некоторые отличия от непрерывных систем. Для последних условием устойчивости является отрицательность корней характеристического уравнения системы [2,3].

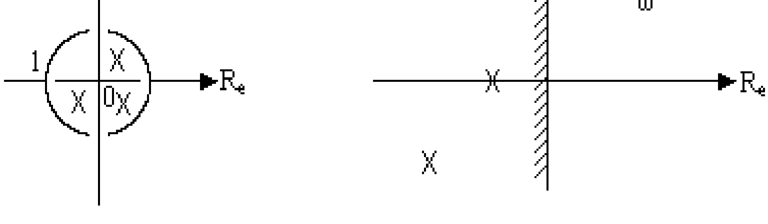
Поскольку для дискретных систем используется другая переменная $z = e^{pT}$, то ее конформное преобразование отображает левую полуплоскость плоскости p в область, ограниченную окружностью единичного радиуса на плоскости z (рисунок 5 б). При этом мнимая ось плоскости p отображается в саму окружность. Отсюда следует, что условие устойчивости линейных дискретных систем на плоскости z имеет вид (рисунок 5 а):

$|Z_i|<1, \quad i= 1,n.$

Геометрически это условие означает, что на комплексной плоскости z все корни характеристического уравнения

$$A(z)=a_nz^n +a_{n-1} z^{n-1} +\ldots+a_0 =0$$

устойчивой линейной дискретной системы располагаются в круге радиусом z =1.



а) б)

Рисунок 5 – Условие устойчивости дискретной системы (а), область устойчивости дискретной системы (б)

Окружность единичного радиуса, таким образом, представляет собой границу устойчивости дискретной системы. При этом возможны следующие варианты:

– если все корни характеристического уравнения находятся внутри указанной окружности, то система устойчива;

– если имеется корень z_i=1, то система находится на границе устойчивости нейтрального типа (апериодическая граница устойчивости);

– если в характеристическом уравнении имеется пара сопряженных комплексных корней, расположенных на окружности единичного радиуса, то имеет место колебательная граница устойчивости;

– если имеется корень zi= –1, то система имеет границу устойчивости третьего типа, характерную незатухающими периодическими колебаниями.

В практике иногда требуется найти пределы коэффициента передачи К разомкнутого контура цифровой системы, при которых система с единичной обратной связью будет устойчива.

Исследование устойчивости линейных дискретных систем является более сложной задачей, чем исследование устойчивости непрерывных систем. Здесь неприменимы критерий Гурвица, также неприменимо условие положительности коэффициентов характеристического уравнения.

Например, в уравнении z – 0,5 = 0, один коэффициент отрицательный, но система, тем не менее, устойчива, т. к. соблюдается условие | z | < 1.

Для возможности применения в исследовании устойчивости линейных дискретных систем критериев устойчивости непрерывных систем используется так называемое билинейное или ω-преобразование. Смысл последнего в том, что применив новую переменную ω Z = 1 + ω / 1 – ω, круг единичного радиуса с плоскости Z отображается на левую плоскость вновь введенной переменной ω.

Это преобразование позволяет применить к полиному относительно переменной ω критерий Гурвица. Если характеристический полином A(z) преобразован к A (ω) , и последний удовлетворяет критерию Гурвица, то дискретная система с данным полиномом A(z) асимптотически устойчива.

Степень устойчивости дискретных систем на плоскости z равна разности:

$\eta = 1 - \max | z_i |$,

где z_i – корни характеристического уравнения A(z) замкнутой дискретной системы.

Если система является неустойчивой, то запасы устойчивости не определяются.

Переходные процессы дискретных систем. Показатели качества дискретных (естественно устойчивых) систем и методы их исследования практически полностью аналогичны случаю непрерывных систем. Это касается управляемости, наблюдаемости, астатизма, показателей качества в переходном и установившемся режимах.

Дискретные системы в переходном периоде также характеризуются временем переходного процесса, перерегулированием и т. д., где эти характеристики имеют тот же смысл.

Показатели качества дискретных систем и методы их исследования и синтеза во многом аналогичны случаю непрерывных систем.

Задание

Определить устойчивость дискретной системы, которая имеет характеристическое уравнение второго порядка:

$$Z^2 + AZ + B = 0 \quad .$$

Контрольные вопросы

1. Приведите определение дискретной системы.
2. Перечислите особенности дискретных систем.
3. Приведите определение передаточной функции дискретной системы
4. Приведите частотные характеристики дискретной системы.
5. Сформулируйте критерий устойчивости дискретной системы.
6. Перечислите показатели качества дискретной системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Титов, Д.В. Основы теории управления: учебное пособие / Д. В. Титов, И. Е. Чернецкая, Т. А. Ширабакина; Минобрнауки России, Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2022. – 204 с. – Библиогр.: с. 202–203.
2. Коновалов, Б. И. Теория автоматического управления [Текст] : учебное пособие / Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев.- Изд. 3-е, доп. и перераб.- Санкт-Петербург : Лань, 2010. - 224 с.
3. Федосенков, Б. А. Теория автоматического управления: классические и современные разделы : учебное пособие / Б. А. Федосенков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет». – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2018. – 322 с. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495195 (дата обращения: 19.06.2024). – Режим доступа: по подписке . – Текст : электронный.