

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению лабораторной работы № 3 по дисциплине «Цифровая обработка
сигналов» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и
комплексы» очной формы обучения**

Воронеж 2022

УДК 621.391.083.92
ББК 32.811.3

Составитель:
д. ф.-м.н. Кузьменко Р.В

Цифровая обработка сигналов: методические указания к выполнению лабораторных работ № 3 по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Р.В. Кузьменко. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 27 с.

Основной целью указани к выполнению лабораторных работ является поддержка выработка навыков цифровой обработки сигналов и средств их компьютерного моделирования в системе MATLAB.

Издание предназначено для проведения лабораторных работ по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов 4-го курса.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле ЦОС Лаб. работа № 3.docx

Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.391.083.92
ББК 32.811.3

Рецензент: Доктор технических наук, заведующий кафедрой
«Конструирования и производства радиоаппаратуры»
Башкиров А.В.

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Лабораторная работа №3

Линейные дискретные системы

Цель работы: изучить математическое описание линейных дискретных систем и овладеть программными средствами их моделирования и анализа в MATLAB.

8.1. Краткая теоретическая справка

Системой обработки сигналов (системой) называется объект, выполняющий требуемое преобразование входного сигнала (воздействия) в выходной (реакцию).

В соответствии с определением, системой можно называть как физическое устройство, так и математическое преобразование. По умолчанию под системой будем понимать математическое преобразование.

Математической моделью системы называют ее *соотношение вход/выход*, которое устанавливает связь между входным и выходным сигналами.

Систему называют *линейной*, если она отвечает условиям аддитивности (реакция на сумму воздействий равна сумме реакций на данные воздействия¹) и однородности (воздействию, умноженному на весовой коэффициент, соответствует реакция, умноженная на тот коэффициент).

Систему называют *дискретной*, если она преобразует дискретное воздействие $x(n)$ в дискретную реакцию $y(n)$.

Систему называют *стационарной*, если ее реакция инвариантна по отношению к началу отсчета времени (свойство инвариантности во времени). Параметры стационарной системы неизменны во времени; задержке воздействия соответствует такая же задержка реакции.

По умолчанию будем рассматривать стационарные линейные дискретные системы (ЛДС).

Нулевые начальные условия (ННУ) означают, что все значения воздействия и реакции, которые может помнить ЛДС в моменты времени, предшествующие началу воздействия² $n=0$, равны нулю:

$$\begin{cases} x(n-i) | (n-i) < 0, i = 1, 2, \dots = 0, \\ y(n-k) | (n-k) < 0, k = 1, 2, \dots = 0, \end{cases}$$

т. е. воздействие и реакция в области отрицательного времени $n < 0$ равны нулю.

¹ Принцип суперпозиции.

² Здесь и далее используется дискретное нормированное время $n = nT/T$

В ЛДС с одним входом и одним выходом соотношение вход/выход представляет собой линейное математическое преобразование, вид которого однозначно связан с основной характеристикой ЛДС во временной области или в z-области.

Под моделированием ЛДС понимают вычисление ее реакции в соответствии с соотношением вход/выход, а под анализом ЛДС — анализ ее характеристик во временной, z- и частотной областях.

8.1.1. Описание ЛДС во временной области

Основной характеристикой ЛДС во временной области является импульсная характеристика (ИХ).

Импульсной характеристикой $h(n)$ ЛДС называют ее реакцию на цифровой единичный импульс $u_0(n)$ при ННУ.

Соотношение вход/выход ЛДС, однозначно связанное с его основной характеристикой во временной области — ИХ, имеет вид линейного математического преобразования в виде формулы свертки:

$$y(n) = \sum_{m=0}^{\infty} h(n-m)x(m) = \sum_{m=0}^{\infty} h(m)x(n-m), \quad 8.1.)$$

где m — задержка последовательности.

Соотношение вход/выход ЛДС, однозначно связанное с его основной характеристикой в z-области — передаточной функцией (о которой пойдет речь в разд. 8.1.2), имеет вид линейного математического преобразования в виде разностного уравнения (РУ):

$$y(n) \sum_{i=0}^{N-1} b_i x(n-i) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k), \quad 8.2.)$$

где b_i , a_k — вещественные коэффициенты РУ — параметры ЛДС; i , k — значения задержек воздействия и реакции; $(N-1)$, $(M-1)$ константы, определяющие максимальные задержки.

В отличие от линейных аналоговых систем, где соответствующие соотношения вход/выход имеют вид интеграла свертки или линейного дифференциального уравнения, вычисление реакции по формуле свертки (8.1) или РУ (8.2) выполняется методом прямой подстановки при ННУ, т. е. эти соотношения непосредственно описывают алгоритмы вычисления реакции.

По виду РУ различают два типа ЛДС:

☼ *рекурсивная* ЛДС, реакция которой зависит от текущего и предшествующих отсчетов воздействия и предшествующих отсчетов реакции, т. е.:

$a_k \neq 0$ хотя бы для одного значения k ;

☼ *нерекурсивная* ЛДС, реакция которой зависит только от текущего и предшествующих отсчетов воздействия, т. е.:

$a_k = 0$ для всех k .

Рекурсивные и нерекурсивные ЛДС имеют соответственно бесконечную и конечную ИХ, отсюда их тождественные названия:

☞БИХЛДС (IIR — InfiniteImpulseResponse);

☞КИХЛДС (FIR — Finite Impulse Response).

Импульсная характеристика КИХ ЛДС совпадает с коэффициентами b_i РУ (8.2):

$$h(n) = b_i, n = i. \quad 8.3)$$

В MATLAB вычисление реакции по формуле свертки (8.1) выполняется с помощью функции:

$y = conv(h, x)$

где h — вектор отсчетов ИХ длины N_1 ; бесконечная ИХ рекурсивной ЛДС ограничивается до конечной длины; x — вектор отсчетов воздействия длины N_2 ; y — вектор отсчетов реакции длины $L = N_1 + N_2 - 1$ (длина свертки). Вычисление реакции по РУ (8.2) выполняется с помощью функции:

$y = filter(b, a, x)$

где b, a — векторы коэффициентов $[b_0, b_1, \dots, b_{N-1}]$ и $[1, a_1, \dots, a_{M-1}]$; x — вектор отсчетов воздействия; y — вектор отсчетов реакции с длиной, равной длине воздействия.

Обратим внимание на то, что коэффициенты a_k записываются без учета знака "минус", стоящего перед суммой в РУ (8.2).

Импульсная характеристика вычисляется с помощью функции:

$h = impz(b, a, N)$

где b, a — определены ранее для функции $filter$; N — количество отсчетов (длина) ИХ; h — вектор отсчетов ИХ.

Импульсная характеристика может также вычисляться с помощью функции $filter$, если в качестве воздействия используется цифровой единичный импульс (7.10).

8.1.2. Описание ЛДС в z -области

Основной характеристикой ЛДС в z -области является передаточная функция $H(z)$ — z -изображение ИХ $h(n)$:

$$H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)z^{-n}$$

Передаточной функцией ЛДС называют отношение z -изображения реакции к z -изображению воздействия при ННУ:

$$H(z) = Y(z)/X(z).$$

Данное отношение легко получить, выполнив Z -преобразование РУ (8.2). Передаточная функция рекурсивной ЛДС имеет вид дробно-рациональной функции

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k}} \quad 8.4)$$

Показатель степени z^{-1} соответствует задержкам воздействия, а z^{-k} — задержкам реакции; коэффициенты a_k передаточной функции и РУ (8.2) имеют противоположные знаки.

Для нерекурсивных ЛДС передаточная функция, с учетом (8.3), принимает вид:

$$H(z) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i} = \sum_{n=0}^{N-1} h(n) z^{-n} \quad (8.5)$$

Порядок рекурсивной ЛДС равен порядку знаменателя передаточной функции (М-1) при соблюдении условия $(N-1) \leq (M-1)$ (по умолчанию).

Порядок нерекурсивной ЛДС равен (N-1) .

Нулями передаточной функции называют значения z , при которых она равна нулю, а полюсами (особыми точками) — значения z , при которых ее знаменатель равен нулю.

Картой нулей и полюсов называют z -плоскость с нанесенной единичной окружностью и символически изображенными нулями и полюсами.

По карте нулей и полюсов можно сделать вывод об устойчивости ЛДС: полюсы устойчивой ЛДС располагаются внутри единичного круга [1].

Комплексно сопряженные нули $z_{k1,2}$ и полюсы $z_{*k1,2}$ представляют в показательной форме, где аргументы — углы (в радианах) на комплексной z -плоскости:

$$\begin{cases} z_{\circ k1,2} = r_{\circ k} e^{\pm j\varphi_{\circ k}} \\ z_{*k1,2} = r_{*k} e^{\pm j\varphi_{*k}} \end{cases} \quad (8.6)$$

Помимо общего вида (8.4), передаточная функция рекурсивных ЛДС может быть представлена следующими своими разновидностями¹:

⊗ произведение простейших множителей:

$$H(z) = b_0 \prod_{k=1}^{M-1} \frac{(1 - z_{\circ k} z^{-1})}{(1 - z_{*k} z^{-1})} \quad (8.7)$$

где $z_{\circ k}$, z_{*k} — соответственно k -е нуль и полюс передаточной функции (8.4).

В общем случае нули и полюсы — попарно комплексно сопряженные числа; ⊗ произведение множителей второго порядка:

$$h(Z) = \prod_{k=1}^L \frac{b_{0k} + \tilde{b}_{1k} z^{-1} + \tilde{b}_{2k} z^{-2}}{1 + a_{1k} z^{-1} + a_{2k} z^{-2}} \quad (8.8)$$

где b_{0k} , b_{1k} , b_{2k} , a_{1k} , a_{2k} — вещественные коэффициенты рекурсивных звеньев

2-го порядка, называемых также биквадратными; L — количество звеньев, равное $L = \text{int} \left(\frac{M-1}{2} \right)$

¹ Приведены разновидности, представленные в MATLAB стандартными функциями.

где int — функция округления до ближайшего целого в сторону увеличения.

В MATLAB используется представление передаточной функции в эквивалентном виде, получаемом при вынесении за скобки коэффициентов b_{0k} :

$$H(z) = G \prod_{k=1}^L \frac{1 + b_{1k}z^{-1} + b_{2k}z^{-2}}{1 + a_{1k}z^{-1} + a_{2k}z^{-2}} \quad (8.9)$$

где $G = b_{01} \cdot b_{02} \cdot \dots \cdot b_{0L}$ — коэффициент усиления, а соответствующие коэффициенты связаны соотношениями: $b_{1k} = \hat{b}_{1k}/G$; $b_{2k} = \hat{b}_{2k}/G$

сумма простых дробей:

$$H(z) = \sum_{k=1}^{M-1} H_k(z) = \sum_{k=1}^{M-1} \frac{A_k}{1 - z_{*k}z^{-1}} \quad (8.10)$$

где z_{*k} — простой (не кратный) k -й полюс передаточной функции A_k — коэффициент разложения при k -м полюсе; A_k и z_{*k} — всегда числа одинакового типа, комплексные или вещественные.

При одинаковых порядках числителя и знаменателя $(M - 1) = (N - 1)$ в (8.4) будем иметь в (8.10) *целую часть* — вещественную константу C :

$$H(z) = \sum_{k=1}^{M-1} \frac{A_k}{1 - z_{*k}z^{-1}} + c \quad (8.11)$$

В MATLAB для представления передаточной функции (8.4) в виде произведения простейших множителей (8.7) используется функция:

$$[q, p, K] = \text{tf2zpk}(b, a)$$

где b , a — векторы коэффициентов числителя $[b_0, b_1, \dots, b_{N-1}]$ и знаменателя $[1, a_1, \dots, a_{M-1}]$ передаточной функции (8.4); q , p — векторы-столбцы нулей z_{0k} и полюсов z_{*k} передаточной функции (8.7), представленные в алгебраической форме; K — коэффициент усиления b_0 в (8.7).

Представление передаточной функции (8.4) в виде произведения множителей второго порядка (8.9) выполняется с помощью функции:

$$[s, G] = \text{tf2sos}(b, a)$$

где b , a — определены ранее для функции tf2zpk ; G — коэффициент усиления G в (8.9); s — матрица коэффициентов числителей и знаменателей биквадратных звеньев передаточной функции (8.9) в виде:

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{11}b_{21} & 1 & a_{11}a_{21} \\ 1 & b_{11}b_{21} & 1 & a_{11}a_{21} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & b_{1L}b_{2L} & 1 & a_{1L}a_{2L} \end{bmatrix} \quad (8.12)$$

Для представления передаточной функции (8.4) в виде суммы простых дробей (8.11) применяется функция:

$$[r, p, c] = \text{residue}(b, a)$$

где b , a — определены ранее для функции tf2zpk ; r , p — векторы-столбцы коэффициентов разложения A_k и полюсов z_{*k} в (8.11), представленные в

алгебраической форме; c — целая часть c в (8.11); при ее отсутствии выводится пустая матрица $c=[]$.

Карта нулей и полюсов передаточной функции выводится с помощью функции:

zplane(b,a)

8.1.3. Описание ЛДС в частотной области

Основной характеристикой ЛДС в частотной области является частотная характеристика (ЧХ) $H(e^{j\omega})$ — Фурье-изображение ИХ $h(n)$:

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)e^{-j\hat{\omega}n}$$

где $\hat{\omega}$ — нормированная частота:

$$\hat{\omega} = \omega T \text{ (рад)} \quad (8.13)$$

Частотная характеристика $H(e^{j\omega})$ связана с передаточной функцией $H(z)$ соотношением:

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = H(z)|_{z=e^{j\omega}} \quad (8.14)$$

что позволяет путем подстановки $z = e^{j\omega}$ в (8.4) получить ее в виде:

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i e^{-ji\hat{\omega}}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k e^{-jk\hat{\omega}}} \quad (8.15)$$

Частотную характеристику $H(e^{j\omega})$ (8.15) можно представить в показательной форме:

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = |H(e^{j\hat{\omega}})| e^{j \arg\{H(e^{j\hat{\omega}})\}} = A(\hat{\omega}) e^{j\varphi(\hat{\omega})} \quad (8.16)$$

Модуль $A(\hat{\omega})$ и аргумент $\varphi(\hat{\omega})$ частотной характеристики соответствуют амплитудно-частотной и фазочастотной характеристикам ЛДС.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) отображает частотную зависимость отношения амплитуды реакции к амплитуде гармонического воздействия в установившемся режиме.

Фазочастотная характеристика (ФЧХ) отображает частотную зависимость разности фаз реакции и гармонического воздействия в установившемся режиме.

АЧХ и ФЧХ — периодические функции с периодом 2π в шкале частот $\hat{\omega}$ или f_d в шкале частот f (Гц).

АЧХ — четная, а ФЧХ — нечетная функция частоты.

АЧХ и ФЧХ рассчитываются в основной полосе частот $[0; \pi]$ в шкале частот $\hat{\omega}$ или $[0; f_d/2]$ в шкале частот f (Гц).

По карте нулей и полюсов можно определить местоположение максимумов, минимумов и нулей АЧХ в основной полосе частот $[0; \pi]$, а именно:

☼ частота комплексно сопряженного *полюса* $\hat{\omega}_{*k}$, где $\hat{\omega}_{*k} = \varphi_{*k}$ в (8.6), соответствует частоте максимума АЧХ (приблизительно);

☼ частота комплексно сопряженного *нуля* $\hat{\omega}_{\circ k}$, где $\hat{\omega}_{\circ k} = \varphi_{\circ k}$ в (8.6), соответствует частоте *минимума* АЧХ (приблизительно), если $r_{\circ k} \neq 1$, или нуля АЧХ, если

$r_{\circ k} = 1$ (комплексно сопряженные нули на единичной окружности); в точке нуля

АЧХ наблюдается скачок ФЧХ на π ;

☼ вещественным нулям $z_k = 1$ и/или $z_k = -1$ (на единичной окружности) соответствует нуль АЧХ на границе основной полосы частот 0 и/или π .

В MATLAB частотная характеристика (8.15) вычисляется с помощью функции `freqz` одного из следующих форматов:

H = freqz(b,a,f,Fs)

H = freqz(b,a,w)

H = freqz(b,a,N)

где: b , a — определены ранее для функции `tf2zpk` (см. разд. 8.1.2); f — вектор частот в герцах; Fs — частота дискретизации f_d (Гц); w — вектор нормированных частот $\hat{\omega}$ (рад); N — количество точек ЧХ; в отсутствии параметра по умолчанию $N = 512$; H — вектор комплексных значений ЧХ.

Модуль частотной характеристики (АЧХ) определяется с помощью функции `abs(H)`, а аргумент (ФЧХ) — с помощью функции `angle(H)` (см. табл. 1.4).

8.1.4. Структуры звеньев 2-го порядка

Структура (структурная схема) ЛДС отображает алгоритм вычисления реакции по РУ и определяется видом передаточной функции.

Для рекурсивных звеньев 2-го порядка с передаточной функцией

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad (8.17)$$

и разностным уравнением

$$y(n) = b_0 x(n) + b_1 x(n-1) + b_2 x(n-2) - a_1 y(n-1) - a_2 y(n-2)$$

поддерживаются следующие структуры:

прямая¹ — Direct-Form I (рис. 8.1, а);

прямая транспонированная — Direct-Form I Transposed (рис. 8.1, б);

прямая каноническая — Direct-Form II (рис. 8.1, в);

прямая каноническая транспонированная — Direct-Form II Transposed (рис. 8.1, г).

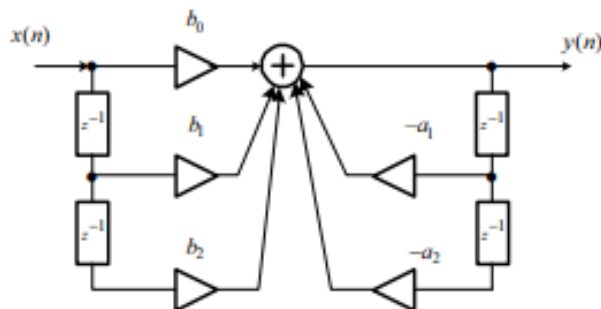
¹ Прямой структуре соответствует представление передаточной функции в виде (8.17), а остальным прямым структурам — ее модификации и модификации РУ.

В MATLAB структуры описываются в виде объекта `dfilt` (от англ. Discrete-time filter object):

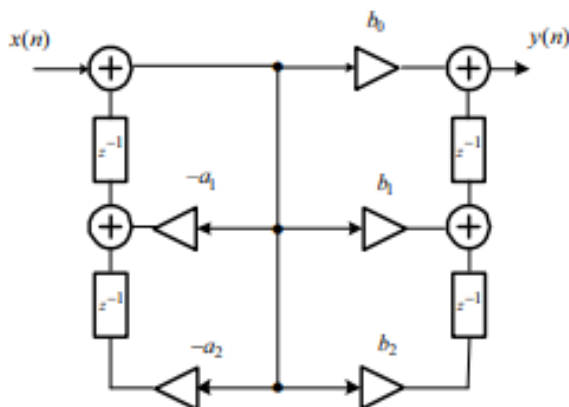
`Hd = dfilt.structure(b,a)`

где `Hd` — имя объекта; `dfilt` — тип объекта; `structure` — функция, задающая конкретную структуру объекта `Hd` (табл. 8.1); `b`, `a` — параметры функции `structure` — векторы коэффициентов передаточной функции (8.4), определенные ранее для функции `tf2zpk` (см. разд. 8.1.2).

а)



б)



в)

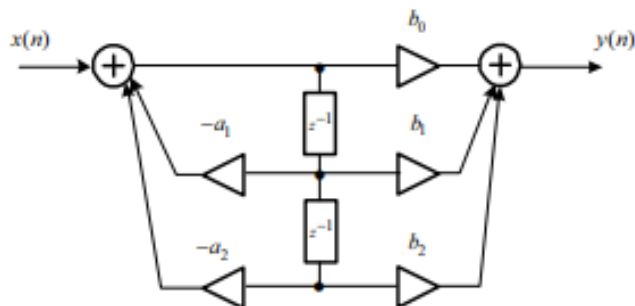


Рис. 8.1. Структурные схемы рекурсивного звена 2-го порядка:

прямая (Direct-Form I) (а); прямая транспонированная (Direct-Form I Transposed) (б);
прямая каноническая (Direct-Form II) (в)

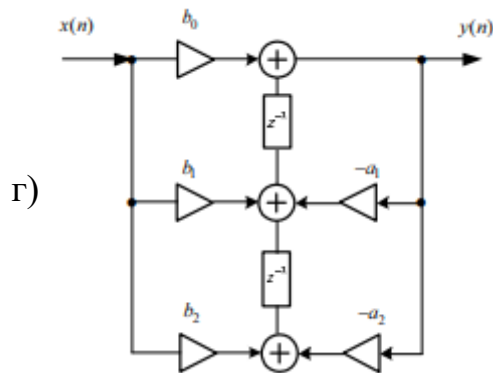


Рис. 8.1. Структурные схемы рекурсивного звена 2-го порядка:
 прямая каноническая транспонированная (Direct-Form II Transposed) (г)
 Свойства объекта dfilt с именем Hd для рекурсивных звеньев 2-го порядка
 включают в себя:

⌘ FilterStructure — структура звена;

⌘ Arithmetic — форма представления данных;

⌘ Numerator — коэффициенты числителя передаточной функции;

⌘ Denominator — коэффициенты знаменателя передаточной функции;

⌘ PersistentMemory — начальные условия при вычислении реакции;
 значение false соответствует ННУ (см. разд. 8.1.1).

Структуры звеньев 2-го порядка, описываемые в виде объектов dfilt,
 приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Функции structure и структуры рекурсивных звеньев 2-го
 порядка

Функция structure	Структура рекурсивного звена 2-го порядка
df1	Direct-Form I (прямая, см. рис. 8.1, а)
df1t	Direct-Form I Transposed (прямая транспонированная, см. рис. 8.1, б)
df2	Direct-Form II (прямая каноническая, см. рис. 8.1, в)
df2t	Direct-Form II Transposed (прямая каноническая транспонированная, см. рис. 8.1, г)

8.2. Содержание лабораторной работы

Содержание работы связано с моделированием ЛДС, анализом ее характеристик и описанием структур программными средствами MATLAB на примере рекурсивных звеньев 2-го порядка.

8.3. Задание на лабораторную работу

Лабораторная работа выполняется на основе script-файла lr_08 и function-файла input_1, которые хранятся на прилагаемом компакт-диске в папке LAB_DSP\LAB_08.

Перед выполнением работы необходимо сохранить путь к папке LAB_08 по команде контекстного меню Add to Path | Selected Folders.

Исходные данные для пунктов задания приводятся в табл. 8.2 для номера бригады

$N_{бр}$, где $N_{бр} = 1, 2, \dots, 30$. Функция $N_{бр} \bmod M$ в записи исходных данных означает вычисление значения $N_{бр}$ по модулю M .

Коэффициенты передаточной функции (8.17) b_0, b_1, b_2 , и a_1, a_2 , (см. табл. 8.2) рассчитываются с точностью до четырех значащих цифр¹.

Таблица 8.2. Таблица исходных данных

Переменная	Назначение	Значение	Идентификатор
$N_{бр}$	Номер бригады	$N_{бр}$	Nb =
b_0 b_1 b_2	Коэффициенты числителя передаточной функции	$b_0 = 0,5 + 0,02N_{бр}$ $b_1 = b_0(-1)^{N_{бр}+1} + (0,9822 + 0,0178N_{бр})$ $b_2 = b_0[0,8 + 0,2(N_{бр} \bmod 5)]$	Вектор $b = [...]$
a_0 a_1 a_2	Коэффициенты знаменателя передаточной функции	$a_0 = 1$ $a_1 = (-1)^{N_{бр}} + (0,7778 + 0,025N_{бр})$ $a_2 = 0,64 + 0,006N_{бр}$	Вектор $a = [1...]$
N_1	Длина ИХ	$N_1 = N_{бр} \bmod 10 + 20$	N1 =
N_2	Длина воздействия	$N_2 = N_{бр} \bmod 10 + 30$	N2 =
f_d	Частота дискретизации	$f_d = 1000N_{бр}$	Fs =

1

Это удобно сделать в MATLAB в режиме прямых вычислений

На прилагаемом компакт-диске в папке Tables\Tables_08 хранятся табл. 8.2 исходных данных и пример ее заполнения для $N_{бр}=1$.

Задание на лабораторную работу связано с моделированием рекурсивного звена 2-го порядка и анализом его характеристик и включает в себя следующие пункты:

1. Вычисление импульсной характеристики (идентификатор h1) длины N_1 с помощью функции `impz` с выводом графика.

Записать аналитическую формулу ИХ рекурсивного звена 2-го порядка с учетом ННУ. Пояснить, чему в действительности равна длина ИХ.

2. Вычисление импульсной характеристики (идентификатор h2) с помощью функции `filter` с выводом графика.

Пояснить, что и почему выбрано в качестве воздействия.

3. Вычисление реакции $y_1(n)$ (идентификатор y1) по формуле свертки.

В качестве воздействия $x(n)$ длины N_2 выбрать дискретный прямоугольный импульс (идентификатор x):

$$x(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq \text{int}(N_2/2) \\ 0, & \text{int}(N_2/2) \leq n \leq (N_2 - 1) \end{cases} \quad (8.18)$$

Функция `int` определена в разд. 8.1.2.

Для моделирования воздействия (8.18) использовать function-файл `input_1` (см. разд. 8.4.1).

Вывести график воздействия $x(n)$ и два графика реакции $y_1(n)$ с длиной, равной длине свертки L , и длиной, ограниченной до длины воздействия.

Записать формулу свертки.

Пояснить:

- чему равна длина импульса (8.18);
- чему равна длина свертки аналитически и по графику;
- почему ее ограничивают до длины воздействия.

4. Вычисление реакции $y_2(n)$ (идентификатор y2) по разностному уравнению.

Задать воздействие $x(n)$ (8.18). Вывести графики воздействия и реакции.

Сравнить графики реакций $y_1(n)$ (см. п. 3) и $y_2(n)$.

Записать РУ рекурсивного звена 2-го порядка с заданными коэффициентами.

Пояснить, чему равны длины воздействия и реакции.

5. Вычисление параметров передаточной функции в виде произведения простейших множителей.

Вычислить нули, полюсы и коэффициент усиления (идентификаторы q, p и K) передаточной функции (8.17).

Записать нули и полюсы в алгебраической и показательной формах и пояснить связь между ними.

Выразить значение аргумента полюса и нуля относительно π , например, значе-

нию $\varphi = 1,7654$ будет соответствовать:

$$\varphi = 1,7654 \approx 0,562\pi \quad (8.19)$$

Представить передаточную функцию в виде произведения простейших множителей с нулями и полюсами в показательной форме.

6. Вычисление параметров передаточной функции в виде произведения множителей второго порядка.

Вычислить коэффициент усиления (идентификатор G) и матрицу коэффициентов (идентификатор s) передаточной функции.

Представить передаточную функцию в виде произведения множителей второго порядка.

7. Вычисление параметров передаточной функции в виде суммы простых дробей.

Вычислить полюсы, коэффициенты разложения и целую часть (идентификаторы p , g и s) передаточной функции.

Записать полюсы и коэффициенты разложения в алгебраической и показательной формах.

Выразить значения аргумента полюса и коэффициента разложения в виде (8.19).

Представить передаточную функцию в виде суммы простых дробей с полюсами и коэффициентами разложения в показательной форме.

8. Вывод карты нулей и полюсов.

Изобразить карту нулей и полюсов.

Пояснить:

- является ли рекурсивное звено устойчивым;
- совпадают ли значения нулей и полюсов с вычисленными в п. 5.

9. Вычисление АЧХ и ФЧХ в шкале нормированных частот.

Вычислить АЧХ и ФЧХ (идентификаторы MAG_w и $PHASE_w$) в шкале нормированных частот ω (идентификатор w) и вывести их графики.

Сравнить значения полученной АЧХ на границах основной полосы со значениями, вычисленными аналитически по формулам:

$$A(0) = |H(z)|_{z=e^{j0}=1} = \left| \frac{b_0 + b_1 + b_2}{1 + a_1 + a_2} \right| \quad (8.20)$$

$$A(\pi) = |H(z)|_{z=e^{j\pi}=-1} = \left| \frac{b_0 - b_1 + b_2}{1 - a_1 + a_2} \right| \quad (8.21)$$

Пояснить:

- чему равны границы основной полосы частот;
- соответствие между картой нулей и полюсов и видом АЧХ;
- какому значению АЧХ соответствует скачок на π , если он имеется;

- какие частотные составляющие воздействия, низкие или высокие, оказались преимущественно подавленными в реакции.

10. Вычисление АЧХ и ФЧХ в шкале абсолютных частот.

Вычислить АЧХ и ФЧХ (идентификаторы MAG и PHASE) в шкале частот f (Гц) (идентификатор f) при заданной частоте дискретизации f_d и вывести их графики.

Пояснить:

- чему равны границы основной полосы частот;
- соответствие частотами $\hat{\omega}$ и f .

11. Описание структуры рекурсивного звена.

Описать четыре разновидности структур рекурсивного звена 2-го порядка (см. табл. 8.2) в виде объектов `dfilt` с именами Hd1—Hd4.

Пояснить:

- что отображает структура и чем определяется ее вид;
- свойства каждого из объектов `dfilt`.

12. Анализ влияния нулей и полюсов на вид АЧХ.

В отдельных полях одного графического окна вывести карты нулей и полюсов и соответствующие нормированные АЧХ (идентификатор MAGN) в шкале нормированных частот $\hat{\omega}$ для различных вариантов коэффициентов передаточной функции, представленных в табл. 8.3, которые вычисляются автоматически.

Для одновременного вычисления нормированных АЧХ при четырех вариантах коэффициентов, коэффициенты числителей и знаменателей представить в виде матриц размером 4×3 .

Пояснить соответствие между картой нулей и полюсов и видом АЧХ.

Таблица 8.3. Варианты коэффициентов

Вариант	Векторы коэффициентов передаточной функции	
	числителя	знаменателя
1	[1 0 0]	[1 a1 a2]
2	[1 0 0]	[1 -a1 a2]
3	[1 0 0]	[1 a1 1.2*a2]
4	[1 1 0]	[1 a1 a2]

8.4. Типовой script-файл для выполнения лабораторной работы

Перед выполнением работы должна быть представлена табл. 8.2 исходных данных для своего номера бригады $N_{бр}$.

Для запуска лабораторной работы необходимо обратиться к script-файлу `lr_08` по его имени:

```
>> lr_08
```

Для принудительного снятия script-файла с выполнения следует нажать комбинацию клавиш <Ctrl>+<Break>.

При выполнении script-файла текущие окна с графиками *не закрывать*.

Листинг script-файла lr_08 имеет вид:

```
>> type lr_08
script
clc
clear
disp('% ЛР №8. ЛИНЕЙНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Введите ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ');
DATA=0;
while DATA==0
Nb = input('Nb = '); % НОМЕРБРИГАДЫ
b = input('b = '); % ВЕКТОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧИСЛИТЕЛЯ
ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ
a = input('a = '); % ВЕКТОР КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗНАМЕНАТЕЛЯ
ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ
N1 = input('N1 = '); % ДЛИНА ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
N2 = input('N2 = '); % ДЛИНА ВОЗДЕЙСТВИЯ
Fs = input('Fs = '); % ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ
disp('% Проверьте ПРАВИЛЬНОСТЬ ввода ИСХОДНЫХ ДАННЫХ')
disp('% При ПРАВИЛЬНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ введите 1')
disp('% При НЕПРАВИЛЬНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ введите 0 и
ПОВТОРИТЕ ввод')
DATA = input('--> ');
end
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.1. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ —
функция impz')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ нажмите
<ENTER>')
pause
h1 = impz(b,a,N1); % ИМПУЛЬСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
n = 0:(N1-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ ДЛЯ ИХ
```

```

figure('Name','Impulse Response','NumberTitle','off')
subplot(2,1,1), stem(n,h1,'fill','MarkerSize',3), grid
xlabel('n'), ylabel('h(n)')
title('Impulse Response h(n) — impz')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.2. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ —

функция filter')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ нажмите



<ENTER>')
pause
u0 = [1 zeros(1,(N1-1))]; % ЦИФРОВОЙ ЕДИНИЧНЫЙ ИМПУЛЬС
h2 = filter(b,a,u0); % ИМПУЛЬСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
subplot(2,1,2), stem(n,h2,'fill','MarkerSize',3), grid
xlabel('n'), ylabel('h(n)'), title('Impulse Response h(n) — filter')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.3. ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ПО ФОРМУЛЕ СВЕРТКИ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ И РЕАКЦИИ, вычисленной



по ФОРМУЛЕ



СВЕРТКИ, нажмите <ENTER>')
pause
x = input_1(N2); % ВОЗДЕЙСТВИЕ (ДИСКРЕТНЫЙ ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ

ИМПУЛЬС)

y1 = conv(x,h1); % РЕАКЦИЯ ДЛИНЫ, РАВНОЙ ДЛИНЕ СВЕРТКИ
L = N1+N2-1; % ДЛИНА СВЕРТКИ
n = 0:(N2-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ ДЛЯ

ВОЗДЕЙСТВИЯ

n1 = 0:(L-1); % ДИСКРЕТНОЕ НОРМИРОВАННОЕ ВРЕМЯ ДЛЯ СВЕРТКИ
figure('Name','Input and Output Signals','NumberTitle','off')
subplot(4,1,1), stem(n,x,'fill','MarkerSize',3), grid, xlabel('n')


```

```

ylabel('x(n)'), title('Input Signal — Discrete Rectangular Impulse x(n)')
subplot(4,1,2), stem(n1,y1,'fill','MarkerSize',3), grid
ylabel('y(n)'), title('Output Signal y1(n) — conv (length = L)')
subplot(4,1,3), stem(n,y1(1:N2),'fill','MarkerSize',3), grid
xlabel('n'), ylabel('y1(n)')
title('Output Signal y1(n) — conv (length = N2)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.4. ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕАКЦИИ ПО РАЗНОСТНОМУ  
УРАВНЕНИЮ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКА РЕАКЦИИ, вычисленной по РАЗНОСТНОМУ  
УРАВНЕНИЮ,  
нажмите<ENTER>')
pause
y2 = filter(b,a,x); % РЕАКЦИЯ ЛДС
subplot(4,1,4), stem(n,y2,'fill','MarkerSize',3), grid
xlabel('n'), ylabel('y(n)')
title('Output Signal y2(n) — filter (length = N2)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.5. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНОЙ  
ФУНКЦИИ В ВИДЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ  
ПРОСТЕЙШИХ МНОЖИТЕЛЕЙ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для ВЫВОДА нулей (q) и полюсов (p) В АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ ФОРМЕ  
и коэффициента  
усиления (K) нажмите <ENTER>')
pause
[q,p,K] = tf2zpk(b,a) % НУЛИ (q) И ПОЛЮСЫ (p) В АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ  
ФОРМЕ И  
КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ (K)
disp('%')

```

disp('%Для ВЫВОДА нулей (q) в ПОКАЗАТЕЛЬНОЙ ФОРМЕ нажмите <ENTER>')

pause

disp('% r_q — РАДИУСЫ, w_q — АРГУМЕНТЫ нулей')

r_q = abs(q) % РАДИУСЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ НУЛЕЙ

w_q = angle(q) % АРГУМЕНТЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ НУЛЕЙ

disp('%Для ВЫВОДА полюсов (p) в ПОКАЗАТЕЛЬНОЙ ФОРМЕ нажмите <ENTER>')

pause

disp('% r_p — РАДИУСЫ, w_p — АРГУМЕНТЫ полюсов')

r_p = abs(p) % РАДИУСЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛЮСОВ

w_p = angle(p) % АРГУМЕНТЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ ПОЛЮСОВ

disp('%')

disp('%')

disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')

pause

disp('%')

disp('%')

disp('% **п.6. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНОЙ
ФУНКЦИИ В ВИДЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ
МНОЖИТЕЛЕЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА**')

disp('%')

disp('%')

disp('% Для ВЫВОДА матрицы коэффициентов (s) и коэффициента усиления (G)

нажмите <ENTER>')

pause

[s,G] = tf2sos(b,a) % КОЭФФИЦИЕНТЫ (s) И КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ (G)

disp('%')

disp('%')

disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')

pause

disp('%')

disp('%')

disp('% **п.7. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧНОЙ
ФУНКЦИИ В ВИДЕ СУММЫ ПРОСТЫХ
ДРОБЕЙ**')

disp('%')

disp('%')

disp('% Для ВЫВОДА коэффициентов разложения (r), полюсов (p) и целой части (c)

нажмите <ENTER>')

```

pause
[r,p,c] = residuez(b,a) % КОЭФФИЦИЕНТЫ РАЗЛОЖЕНИЯ (r) и ПОЛЮСЫ (p)
В
АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ ФОРМЕ И ЦЕЛАЯ ЧАСТЬ (c)
disp('%')
disp('%Для ВЫВОДА КОЭФФИЦИЕНТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ (r) в
ПОКАЗАТЕЛЬНОЙ ФОРМЕ нажмите
<ENTER>')
pause
rr = abs(r) % РАДИУСЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ
(r)
wr = angle(r) % АРГУМЕНТЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ
РАЗЛОЖЕНИЯ (r)
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.8. ВЫВОД КАРТЫ НУЛЕЙ И ПОЛЮСОВ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для ВЫВОДА КАРТЫ НУЛЕЙ И ПОЛЮСОВ нажмите <ENTER>')
pause
figure('Name',' Z-plane zero-pole plot','NumberTitle', 'off')
zplane(b,a), title('Z-plane zero-pole plot'), grid
xlabel('Re'), ylabel('jIm')
disp('%')
disp('%')

disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.9.ВЫЧИСЛЕНИЕ АЧХ и ФЧХ в ШКАЛЕ НОРМИРОВАННЫХ
ЧАСТОТ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ АЧХ и ФЧХ в шкале НОРМИРОВАННЫХ
частот нажмите
<ENTER>')

```

```

pause
w = 0:pi/100:pi; % ВЕКТОР НОРМИРОВАННЫХ ЧАСТОТ (РАД)
H_w = freqz(b,a,w); % КОМПЛЕКСНАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
MAG_w = abs(H_w); % АЧХ
PHASE_w = angle(H_w); % ФЧХ
figure('Name','Magnitude and Phase Responses','NumberTitle','off')
subplot(2,2,1), plot(w,MAG_w), grid, xlabel('w (rad)'), title('MAGNITUDE —
|H(w)|')
subplot(2,2,3), plot(w,PHASE_w), grid, xlabel('w (rad)'), title('PHASE — arg
[H(w)] (rad)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.10. ВЫЧИСЛЕНИЕ АЧХ и ФЧХ В ШКАЛЕ АБСОЛЮТНЫХ
ЧАСТОТ')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода ГРАФИКОВ АЧХ и ФЧХ в шкале АБСОЛЮТНЫХ частот
нажмите
<ENTER>')
pause
f = 0:Fs/100:Fs/2; % ВЕКТОР АБСОЛЮТНЫХ ЧАСТОТ (Гц)
H = freqz(b,a,f,Fs); % КОМПЛЕКСНАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
MAG = abs(H); % АЧХ
PHASE = angle(H); % ФЧХ
subplot(2,2,2), plot(f,MAG), grid, xlabel('f (Hz)'), title('MAGNITUDE —
|H(f)|')
subplot(2,2,4), plot(f,PHASE), grid, xlabel('f (Hz)'), title('PHASE — arg
[H(f)] (rad)')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.11. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ РЕКУРСИВНОГО ЗВЕНА')
disp('%')
disp('%')
disp('% Для вывода СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ dfilt нажмите <ENTER>')
pause

```

```

Hd1 = dfilt.df1(b,a) % ПРЯМАЯ СТРУКТУРА (Direct-Form I)
Hd2 = dfilt.df2(b,a) % ПРЯМАЯ КАНОНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА (Direct-Form II)
Hd3 = dfilt.df1t(b,a) % ПРЯМАЯ ТРАНСПОНИРОВАННАЯ СТРУКТУРА (Direct-Form I Transposed)
Hd4 = dfilt.df2t(b,a) % ПРЯМАЯ КАНОНИЧЕСКАЯ ТРАНСПОНИРОВАННАЯ СТРУКТУРА (Direct-Form I Transposed)
disp('% Для продолжения нажмите <ENTER>')
pause
disp('%')
disp('%')
disp('% п.12. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НУЛЕЙ И ПОЛЮСОВ НА ВИД АЧХ')
disp('%')
disp('%')
disp('%')
b(1,:) = [1 0 0]; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЧИСЛИТЕЛЯ — 1-я СТРОКА МАТРИЦЫ
b(2,:) = [1 0 0]; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЧИСЛИТЕЛЯ — 2-я СТРОКА МАТРИЦЫ
b(3,:) = [1 0 0]; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЧИСЛИТЕЛЯ — 3-я СТРОКА МАТРИЦЫ
b(4,:) = [1 1 0]; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЧИСЛИТЕЛЯ — 4-я СТРОКА МАТРИЦЫ
a(1,:) = a; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗНАМЕНАТЕЛЯ — 1-я СТРОКА МАТРИЦЫ
a(2,:) = [1 -a(1,2) a(1,3)]; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗНАМЕНАТЕЛЯ — 2-я СТРОКА МАТРИЦЫ
a(3,:) = [1 a(1,2) 1.2*a(1,3)]; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗНАМЕНАТЕЛЯ — 3-я СТРОКА МАТРИЦЫ
a(4,:) = [1 a(1,2) a(1,3)]; % КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗНАМЕНАТЕЛЯ — 4-я СТРОКА МАТРИЦЫ
w = 0:pi/100:pi; % ВЕКТОР НОРМИРОВАННЫХ ЧАСТОТ (РАД)
for i=1:4
H3(:,i) = freqz(b(i,:),a(i,:),w); % ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА — i-й СТОЛБЕЦ МАТРИЦЫ
MAG3(:,i) = abs(H3(:,i)); MAX(:,i) = max(MAG3(:,i)); % АЧХ — i-й СТОЛБЕЦ МАТРИЦЫ — И МАКСИМУМ АЧХ
MAGN(:,i) = MAG3(:,i)/MAX(:,i); % НОРМИРОВАННАЯ АЧХ — i-й СТОЛБЕЦ МАТРИЦЫ
end
disp('% Для вывода КАРТЫ НУЛЕЙ И ПОЛЮСОВ и НОРМИРОВАННОЙ АЧХ нажмите <ENTER>')

```

```

pause
figure('Name','Z-plane zero-pole plots and Normalized
Magnitudes','NumberTitle','off')
for i = 1:4
subplot(4,2,2*i-1), zplane(b(i,:),a(i,:)), title('Z-plane zero-pole plot'),
grid
xlabel('Re'), ylabel('jIm')
subplot(4,2,2*i), plot(w,MAGN(:,i)), grid
xlabel('w (rad)'), title('Normalized Magnitude A(w)')
end
disp('%')
disp('%')
disp('% РАБОТА ЗАВЕРШЕНА')

```

8.4.1. Используемые внешние функции

В script-файле `lr_08` используется внешняя функция `input_1`, предназначенная для

моделирования воздействия (8.18):

```
function x = input_1(N)
```

```
%Формирование воздействия x длины N
```

```
for n = 0:(N-1)
```

```
if n<round(N/2)
```

```
    x(n+1) = 1;
```

```
else
```

```
    x(n+1) = 0;
```

```
end
```

```
end
```

8.5. Задание на самостоятельную работу

Задание на самостоятельную работу заключается в создании function-файлов для моделирования и анализа характеристик двух рекурсивных звеньев 2-го порядка.

В качестве исходных данных использовать коэффициенты передаточной функции (8.17) для своего номера бригады $N_{бр}$ и следующего за ним; для номера бригады $N_{бр}=30$ второй вариант соответствует $N_{бр}=1$.

При создании function-файлов представить коэффициенты числителей и знаменателей звеньев в виде двух матриц размером 2×3 (см. аналогично в п. 12 script-файла) и организовать ввод строк каждой из матриц с клавиатуры.

Пункты самостоятельного задания включают в себя:

1С. Вычисление и вывод графиков ИХ двух рекурсивных звеньев.

Для вычисления ИХ использовать функцию `filter`. Задать большую длину воздействия, например 1000, и определить длину ИХ N_1 исходя из условия достижения заданной точности $\varepsilon=10^{-3}$ (итерационный цикл):

$$||h(n) - h(n-1)|| \leq E, n = 0, 1, \dots, 999 \quad ($$

8.22)

2С. Вычисление реакции двух рекурсивных звеньев по формуле свертки на воздействие $x(n)$:

$$x(n) = \begin{cases} U, n_0 \leq n \leq (n_0 + n_{imp} - 1) \\ 0, 0 \leq n \leq n_0; (n_0 + n_{imp}) \leq n \leq (N - 1) \end{cases} \quad (8.23)$$

Исходные данные для воздействия (8.23) заданы в табл. 7.1.

Ограничить реакции до длины воздействия и вывести графики воздействия и реакций.

3С. Вычисление реакции двух рекурсивных звеньев по РУ на воздействие $x(n)$ (8.23).

Вывести графики воздействия и реакций.

Описать прямую и обратную каноническую структуры рекурсивных звеньев в виде объектов `dfilt`.

4С. Вычисление АЧХ двух рекурсивных звеньев в шкале нормированных частот $\hat{\omega}$

В отдельных полях одного графического окна вывести карты нулей и полюсов и АЧХ рекурсивных звеньев.

8.6. Отчет и контрольные вопросы

Отчет составляется в редакторе MS Word и содержит исходные данные и результаты выполнения каждого пункта задания, включая копируемые из окна Command Window результаты вычислений (шрифт Courier New), созданные графики (копируются по команде Edit | Copy Figure в окне Figure) и ответы на поставленные вопросы (шрифт Times New Roman).

Защита лабораторной работы проводится на основании представленного отчета и контрольных вопросов из следующего списка:

1. Дайте определение ИХ.
2. Запишите формулу свертки.
3. Поясните, как в формуле свертки учитываются ННУ.
4. Запишите РУ общего вида.
5. Поясните, как в РУ учитываются ННУ.
6. Дайте определение рекурсивных и нерекурсивных ЛДС.
7. Поясните принципиальное отличие ИХ рекурсивных и нерекурсивных ЛДС.
8. Приведите тождественные названия рекурсивных и нерекурсивных ЛДС.
9. Дайте определение передаточной функции.
10. Запишите общий вид передаточной функции рекурсивной ЛДС.
11. Приведите основные разновидности передаточной функции рекурсивной ЛДС.
12. Запишите передаточную функцию нерекурсивной ЛДС.
13. Что такое нули и полюсы ЛДС?
14. Что такое карта нулей и полюсов?
15. Дайте определение устойчивости ЛДС.

16. Как определить, является ли ЛДС устойчивой?
17. Дайте определения АЧХ и ФЧХ.
18. Поясните связь частотной характеристики с передаточной функцией.
19. Перечислите основные свойства АЧХ и ФЧХ.
20. Приведите определение и поясните смысл нормированной частоты $\hat{\omega}$.
21. В какой полосе частот и почему рассчитывают АЧХ и ФЧХ?
22. Чем определяется местоположение максимумов АЧХ?
23. Чем определяется местоположение минимумов АЧХ?
24. Чем определяется местоположение нулей АЧХ?
25. В каких точках ФЧХ имеет скачок на π ?
26. Что отображает структура ЛДС и чем определяется ее вид?
27. Назовите четыре разновидности структур рекурсивного звена 2-го порядка.

Использованные источники:

1. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учеб. пособие / А. И. Солонина, Д. М. Клионский, Т. В. Меркучева, С. Н. Перов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 512 с.
2. Воробьев С.Н. Цифровая обработка сигналов : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / С.Н. Воробьев. - М. : Академия, 2013. - 320 с.
3. Голубинский А.Н. Теория цифровой обработки сигналов : учеб, пособие / А.Н. Голубинский, С.В. Ролдугин, И.В. Лазарев. - Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2009. - 132 с.

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 3 по дисциплине «Цифровая обработка сигналов» для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения

Составитель:

д. ф.-м.н. Кузьменко Р.В.

Компьютерный набор Р.В. Кузьменко

Подписано к изданию _____

Уч-изд. л. _____

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14