**Цифровая обработка сигналов**

Лабораторная работа № 1

Изучение формулы свёртки (2 часа)

1. Краткие сведения из теории. 1.1 Основы работы в **MATLAB.**

1.1.1 Система компьютерной математики **MATLAB** (**MAT**rix **LAB**oratory) переводится с английского как «Матричная лаборатория». Версия **PC MATLAB** для ЭВМ класса **IBM PC, VAX** и **Macintosh** и была создана специалистами фирмы **MathWorks, Inc**. как язык высокого уровня для технических расчетов, визуализации их результатов, обработки данных эксперимента, их анализа и моделирования.

1.1.2. Запуск **MATLAB 6.x** приводит к открытию рабочей cреды (окна, рис.1.1)

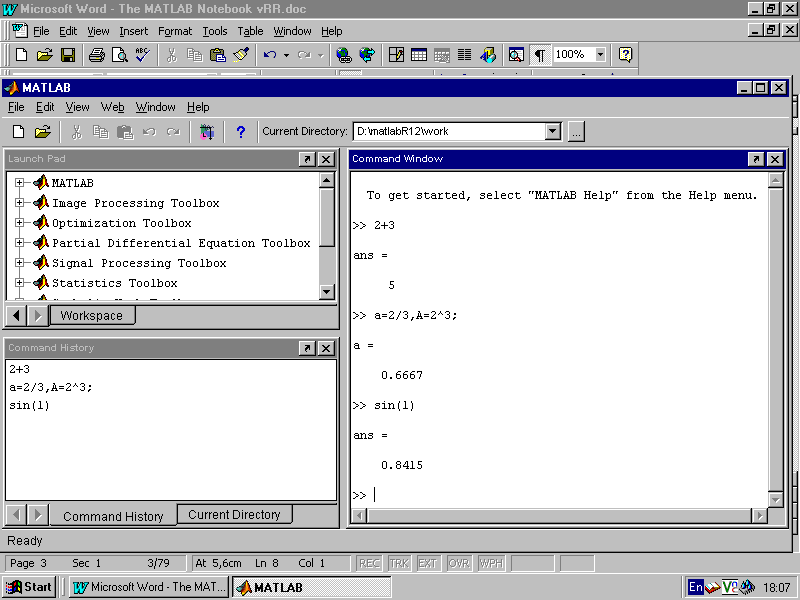


Рис. 1.1. Окно, появляющееся при запуске **MATLAB 6.x**

Окно рис. 1.1 состоит из следующих основных элементов:

● строка меню;

● панель инструментов с кнопками и раскрывающимся списком;

● окно с вкладками **Launch Pad** (Панель запуска) и **Workspase** (Рабочее пространство) из которого можно получить простой доступ к различным модулям **Toolbox** и содержимому рабочей среды;

● окно с вкладками **Command History** (История команд) и **Current Directory** (Текущий каталог), предназначенное для просмотра и повторного вызова ранее введенных команд, а также для установки текущего каталога;

● окно **Command Window** (Окно команд) с командной строкой, в которой находится мигающий вертикальный курсор;

● строка состояния, где отображаются сообщения системы.

1.1.3. Работа в среде **MATLAB** осуществляется либо в программном режиме путем вызова программы на языке **MATLAB**, либо в *командном* режиме (режиме *калькулятора*, *интерактивном* режиме), получая результат непосредственно после ввода очередного оператора или команды. В данном режиме можно выполнять обычные арифметические операции над числами и встроенными математическими функциями, а также выполнять операции над векторами, матрицами, комплексными числами и полиномами, выводить информацию в графической форме.

1.1.4. Основным элементом командного режима работы с системой является окно **Command Window**. В нём показываются вводимые с клавиатуры числа, переменные, результаты вычислений. Символ приглашения **>>** в строке командного окна показывает, что система готова к диалогу. Ввод команд, подлежащих вычислению и набранных на клавиатуре, осуществляется нажатием **<Enter>.** ***При вводе курсор может находится в любом месте командной строки.*** Результат вычисления появляется в следующей строке командного окна – строке вывода. В качестве примеров на рис 1.1 уже были показаны простейшие вычисления – выражений 2+3, 2/3, 23 и значения sin(1), на основании которых можно сделать вывод о том, что результату выполненной операции

>> 2+3

ans =

5

не было присвоено имя, поэтому при выводе он был автоматически обозначен символом **ans** (answer, ответ). Под этим именем он хранится в памяти ПК, и его можно использовать далее до тех пор, пока не будет получен новый непоименованный результат;

● в одной строке могут быть введены несколько выражений и/или команд. В этом случае они разделяются либо запятыми, либо точками с запятой. Результат вычисления выражения или исполнения команды, за которыми следует запятая, выводится на экран. Результат вычисления выражения, за которым следует символ <**;**>, на экран не выводится, но он сохраняется в памяти и может быть использован в последующих вычислениях.

>> a=2/3, A=2^3;

a =

0.6667

В этом примере вычислены и сохранены в памяти переменные **a=2/3** и **A=8**, но последняя не была выведена на экран, так как за ней следует символ <**;**>.

● знаком ***присваивания*** является привычный математикам знак **=**.

1.2 Графика и представление типовых сигналов в **MATLAB.**

1.2.1 В ЦОС изучаются 2 типа сигналов: а) *дискретный*  *x(nT)* = *x(n)* (дискретный по времени и непрерывный по уровню) и б) цифровой *xц(nT)* (дискретный по времени и квантованный по уровню). Во времени оба типа сигналов представляются как последовательности непрерывных *x(n)* или квантованных по уровню *xц(n)* отсчётов. В **MATLAB** последовательности могут представляться а) вектором, б) парой векторов, в) матрицей, г) вектором и матрицей. В дальнейшем под последовательностью будем понимать только дискретный сигнал во временной области.

1.2.2 **MATLAB** обладает набором средств для построения графиков функций одной (двумерные графики) и двух переменных (трёхмерные графики). Все графики выводятся в графические окна со своими меню и панелями инструментов.

1.2.3 Любая переменная в **MATLAB** по умолчанию является матрицей. Далее договоримся обозначать матрицу (матрица Х) прописной буквой, а вектор – (вектор х) – строчной. Тогда:

1.2.3.1. Если х и у – векторы, то будем иметь *один* график функции у.

1.2.3.2. Если Х – матрица, а у – вектор, то будем иметь *графики* функции у, аргументы которой заданы *столбцами* матрицы Х,

1.2.3.3. Если Y – матрица, а х – вектор, то будем иметь *графики* функций, заданных столбцами матрицы Y и зависящих от *одного* аргумента х,

1.2.3.4. Если Х и Y – матрицы, то будем иметь *графики* функций, заданных столбцами матрицы Y, аргументы которой заданы *столбцами* матрицы Х.

1.2.4. Общие правила вывода графиков:

1.2.4.1. Текущий график выводится в текущее графическое окно **Figure 1**. По умолчанию *новый* график выводится *в то же окно*, при этом предыдущий график *автоматически удаляется*. Окно **Figure 1** содержит *стандартное меню и панель инструментов,* которые легко осваиваются интуитивно

1.2.4.2. Вывод графиков в отдельных графических окнах с номерами **Figure 1**, **Figure 2**, **Figure N** выполняется по команде «figure», которая ставится *перед* новой функцией построения графика.

1.2.4.3. Вывод в текущее графическое окно **Figure** *нескольких графиков на одних осях*, строящихся с помощью разных функций **MATLAB**, выполняется по команде «hold on», которая ставится *перед* новой функцией построения графика.

1.2.4.4. Удаление из текущего графического окна **Figure** *всех предыдущих графиков* выполняется по команде «hold off», которая ставится *после* последней функции построения графика перед новым построением.

1.2.4.5. Разбиение текущего графического окна **Figure** для вывода независимых графиков выполняется с помощью функции «subplot (n,m,p)», где mхn – размер матрицы графического окна: m строк и n столбцов, p – порядковый номер выводимого графика, считая по строкам слева направо. Элементами матрицы графического окна являются поля, предназначенные для вывода независимых графиков. Если в матрице графического окна число полей превосходит число независимых графиков, то «лишние» поля остаются незаполненными.

1.2.4.6. Список функций, используемых в двумерной графике, может быть выведен по команде «help graph2d».

1.2.5.Двумерный график в линейном масштабе строится в **MATLAB** с помощью функции «plot». Основные форматы этой функции:

1.2.5.1. «plot(Y)» или «plot(y)» – где Y и y – функция (соответственно матрица или вектор), аргументом которой служат индексы элементов матрицы или вектора.

1.2.5.2. «plot(X,Y)» или «plot(x,y)» – где X,Y и x,y – аргумент и функция (соответственно матрицы или векторы), согласованные по длине.

1.2.5.3. «plot(X1,Y1,X2,Y2.,.. )» или «plot(x1,y1,x2,y2.,..)» – аргументы и функции (соответственно матрицы или векторы), попарно согласованные по длине. Кроме функции «plot», в **MATLAB** имеется ряд других функций ( «loglog», «semilog» и др.) для построения графиков в масштабе, отличном от линейного (логарифмическом по осям абсцисс и ординат, логарифмическом по оси абсцисс и линейном по оси ординат и т.д.).

1.2.6. График последовательности строится в **MATLAB** с помощью функции «stem». Основные форматы этой функции подобны форматам 1.5.1 и 1.5.2 функции «plot». Дополнительные форматы:

1.2.6.1. «stem(…, `fill`)», где `fill` указывает на закрашивание маркером

1.2.6.2. «stem(…, LineSpec)», где» LineSpec – параметры, управляющие свойствами графика. На месте этих параметров чаще всего стоит , что означает, что размер маркера в пунктах, задаваемых цифрой без апострофов, по умолчанию равен 7.

1.2.7. Основными средствами оформления графиков являются:

1.2.7.1. Функция «grid», используется для нанесения координатной сетки с автоматическим выбором шага.

1.2.7.2. Команда «title», , входным аргументом которой является строка, заключенная в апострофы, используется для подписи заголовка графика, например, «title(`<текст>`)», где <текст> здесь и далее во избежание сбоев рекомендуется вводить латинскими буквами.

1.2.7.3. Команды «xlabel» «ylabel», используются для обозначения оси абсцисс, например, «xlabel(`<текст>`)», и оси ординат, например, «ylabel(`<текст>`)».

1.2.7.4. Команда «gtext», используется для ввода текста на поле графика в произвольном месте, например, «gtext (`<текст>`)». Начало текста указывается на поле графика перекрестием, которое произвольно перемещается по полю с помощью мыши.

1.2.8. Пример 1. Порядок построения двумерного графика функции одной переменной:

1.2.8.1. Пусть на отрезке **[-2,2]** задана функция (2.1)

1.2.8.2. Первый шаг состоит в задании координат точек по оси абсцисс. Заполнение вектора x элементами с постоянным шагом при помощи двоеточия позволяет просто решить эту задачу >> x=[-2:0.05:2];

1.2.8.3. Далее необходимо поэлементно вычислить значения ***f(x)*** для каждого элемента вектора ***x*** и записать результат в вектор ***f*** >> f=exp(x).\*sin(pi\*x)+x.^2;

1.2.8.4. Строить график будем функцией «plot». В простейшем случае она вызывается двумя входными аргументами — парой ***x*** и ***f*** (т. е. **plot** выводит зависимость элементов одного вектора от элементов другого). >> plot(x,f)

1.2.8.5. Объединяем записанные выше команды в последовательность, записанную ниже. Это приводит к появлению графического окна с графиком функции.

>> x=[-2:0.05:2];

>> f=exp(x).\*sin(pi\*x)+x.^2; (2.2)

>> plot(x,f)

1.2.9. Пример 2. Построить графики произвольного вектора (1.9.1), функции одной переменной (1.9.2) и двух функций (1.9.3) с разбиением текущего графического окна на подокна и оформлением графиков. Решение:

1.2.9.1. >> y=[1 3 2 5 7 4 1 0 8 1];

>> subplot (3,1,1), plot(y), grid, title(`plot – vector`)

1.2.9.2. >> x=0:pi/8:8\*pi; y=sin(x);

>> subplot (3,1,2), plot(x,y), grid, title(`plot – sin(x)`)

1.2.9.3. >> x1=0:pi/8:8\*pi; y1=sin(x1); x2=0:pi/8:4\*pi; y2=0.5.\*cos(x2);

>> subplot (3,1,3), plot(x1,y1,x2,y2), grid, title(`plot – sin(x), cos(x)`),

>> gtext (`y1`)

>> gtext (`y2`)

1.2.10. Для представления каждой из типовых последовательностей (дискретных сигналов, см. конспект) в **MATLAB** используются свои векторы.

1.2.10.1. *Цифровой единичный импульс,* описываемый соотношением

*u0(n)=1* при *n*=0, *u0(n)=0* при *n≠*0, (2.3)

где  *n*=0, ± 1, ± 2, ± 3…, представляется вектором u0

>>u0=[1 zeros(1,N)], (2.4)

где 1,N – число строк и столбцов нулевой матрицы, а (N+1) – длина вектора u0. Пример 3. Представить в **MATLAB** цифровой единичный импульс *u0(n)* вида (2.3) длины N=11. Решение:

>>N=11; n=0:(N-1); u0=[1 zeros(1, (N-1))]

u0 =

1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

>> subplot (2,2,1), stem(n, u0, `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`u0(n)`) (2.5)

1.2.10.2. *Цифровой единичный скачок,* описываемый соотношением

*u1(n)=1* при *n≥0*, *u1(n)=0* при *n<*0, (2.6)

где  *n*=0, ± 1, ± 2, ± 3…, представляется вектором u1

>>u1=[1 ones(1,N)], (2.7)

где 1,N – число строк и столбцов матрицы единиц, а (N+1) – длина вектора u1. Пример 4. Представить в **MATLAB** цифровой единичный скачок *u1(n)* вида (2.6) длины N=11. Решение:

>>N=11; n=0:(N-1); u1=[1 ones(1, (N-1))]

u1 =

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

>> subplot (2,2,2), stem(n, u1, `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`u1(n)`) (2.8)

1.10.3. *Дискретная экспонента,* описываемая соотношением

*x(n)=аn* при *n≥0*, *u1(n)=0* при *n<*0, (2.9)

где  *n*=0, ± 1, ± 2, ± 3…, представляется вектором х заданной длины. Пример 5. Представить в **MATLAB** дискретные экспоненты вида (2.9) длины N=11 при *а* = 0,8 и *а* = –0,8. Решение:

>>N=11; n=0:(N-1); *а* = 0.8; х= *а.*^n;

>>subplot (2,2,3), stem(n, x, `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`x(n)= *а*^n,...

*а*>0`) (2.10)

>>*а* = –0.8; х= *а.*^n;

>>subplot (2,2,4), stem(n, x, `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`x(n)= *а*^n,...

*а<*0`)

1.2.10.4. *Дискретный комплексный гармонический сигнал (дискретная комплексная экспонента),* описываемая соотношением

 = , (2.11)

или в шкале нормированных частот *ώ*

*x(n)=А\*ejώn* =*A\*cos(ώn)+j\*A\*sin(ώn)*  (2.12)

*Вещественная (действительная)* и *мнимая* части сигнала (2.12) вычисляются с помощью функций соответственно «real» и «imag», а *модуль* его и *аргумент (фаза)* – с помощью функций соответственно «abs» и «angle». Пример 2.6. Представить 32 отсчёта дискретного комплексного гармонического сигнала вида (2.12) при *А =* 2 и *ώ* *= π* / 8. Изобразить графики вещественной и мнимой частей сигнала, а также его модуля и аргумента. Решение:

>>j=sqrt(–1); n=0:31; w = pi/8;

>>х=2.\*exp(j\*w\*n); (2.13)

>>subplot (2,2,1), stem(n, real(x), `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`Re[x(n)])`

>>subplot (2,2,2), stem(n, imag(x), `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`Im[x(n)])`

>>subplot (2,2,3), stem(n, abs(x), `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`Abs[x(n)])`

>>subplot (2,2,4), stem(n, angle(x), `fill`, `MarkerSize`, 3), grid, xlabel(`n`), title(`Angle[x(n)])`

1.3 Формула свёртки. 1.3.1. Системой обработки сигналов (далее – системой) называют объект, выполняющий требуемое преобразование (обработку) входного сигнала в выходной. По умолчанию будем подразумевать систему с одним входом и одним выходом. Входной сигнал называют воздействием, а выходной – реакцией. Взаимосвязь между входом и выходом (соотношение «вход-выход») описывается как

, (3.1)

где  – реакция и воздействие (функции времени), а  – некоторый оператор. Систему называют линейной, если соотношение (1.1) описывается линейным уравнением, и система обладает свойствами аддитивности, однородности и инвариантности во времени. Систему называют дискретной, если  представляют собой дискретные сигналы (последовательности отсчётов , , вещественные или комплексные).

Импульсной характеристикой (ИХ, ) ЛДС называют её реакцию  на единичный цифровой импульс  при нулевых начальных условиях (НУН, рис. 2.1). Признаком НУН является отсутствие реакции при отсутствии воздействия. ИХ  называют основной характеристикой ЛДС.

. (3.2)

Линейный дискретный преобразователь







Рис. 1.2. Структура преобразователя с дискретной передаточной (импульсной) характеристикой

1.3.2. Во временной области соотношение «вход-выход» описывается линейными уравнениями: 1) формулой свёртки, если используется импульсная характеристика, 2) разностным уравнением, если используются параметры ЛДС.

Если используется импульсная характеристика, то реакция  вычисляется как дискретная свёртка воздействия  и импульсной характеристики . При этом (Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1968. – 720 с., с. 127) математическая операция «свёртка» (стандартный символ операции свёртки – «\*») двух конечных последовательностей a(0), a(1), a(2)…и b(0), b(1), b(2)…

, (3.3)

Таким образом, реакция  представляет собой дискретную свёртку воздействия  и импульсной характеристики .

, (3.4)

которая для нормированного времени имеет вид

 (3.5)

1.3.3. Для вычисления реакции ЛДС на некоторое воздействие при заданной импульсной характеристике ЛДС в **MATLAB** используется специальная функция **conv**. Эта функция относится к классу (тулбоксу) «signal processing toolbox», однако вызывается в **MATLAB** непосредственно из окна **Command Window** (окна команд). Для применения **conv** необходимо:

1.3.3.1. Любым способом ввода векторов, описанным в п. 1.2, ввести значение вектора воздействия  и значение вектора импульсной характеристики ЛДС  в виде

>> x=[2, 1];h=[1,2,2,1];

для заданного числа отсчётов времени . Ввод выполнен для  и .

1.3.3.2. Вызвать функцию **conv** в виде

>> y=conv(x,h) (3.6)

1.3.3.3. Реакция ЛДС , рассчитанная функцией **conv** по формуле свёртки (3.5), появится на экране монитора после нажатия клавиши «Ввод» после набранного выражения (3.6).

Примечание: для вектора отсчётов воздействия длиной *k* и вектора отсчётов импульсной характеристики длиной *i* функция возвращает вектор реакции длиной *k+i–1.*

1.3.4. Кроме процедуры, описанной в п. 1.3, **MATLAB** позволяет найти по формуле свёртки импульсную характеристику ЛДС по известным воздействию и реакции. Для этого используется функция **deconv.** Для применения **deconv** необходимо:

1.3.4.1. Ввести значение вектора воздействия  и значение вектора реакции  в виде

>> x=[2, 1];у=[2,5,6,4,1];

для заданного числа отсчётов времени . Ввод выполнен для  и .

1.3.4.2. Вызвать функцию **deconv** в виде

>> h=deconv(y,x) (3.7)

1.3.4.3. Импульсная характеристика ЛДС , рассчитанная функцией **deconv** по формуле свёртки (3.5), появится на экране монитора после нажатия клавиши «Ввод» после набранного выражения (37).

1.3.5. Для моделирования работы ЛДС (КИХ-фильтра) на основе функции свёртки необходимо также использовать функцию **conv.** Пример программы для моделирования:

>> h=[0.1 0.3 0.5];n=0:32;x=sin(0.5.\*n);

>> y=conv(x,h);k=length(y);stem(n,x)

>> hold оn;plot(n,x),grid

>> k=length(y);nc=0:(k-1); stem(nc,y)

>> plot(nc,y,’—‘);gtext(‘Input signal’);gtext(‘Output signal’)

Для ознакомления с работой незнакомых операторов и команд **MATLAB** воспользуйтесь справочной системой **MATLAB** **HELP.**

1.3.6. После набора надписей ‘Input signal’ (Входной сигнал) и ‘Output signal’ (Выходной сигнал) на появившемся графике необходимо мышью передвигать 2 движущиеся оси координат до тех пор, пока пересечение осей не остановится на месте, предназначенном для надписи. После этого надо щёлкнуть левой клавишей мыши, надпись на нужном месте зафиксируется.

2. Практическая часть (порядок выполнения лабораторной работы)

2.1. Построить графики функций одной переменной на указанных интервалах. Вывести графики. Дать заголовки, разместить подписи к осям, нанести сетку. Варианты к заданию 2.1:

1.;;.;;.

2.;;.;;.

3.;;.;;.

4.;;.;;.

5.;;.;;.

6.;;.;;.

7.;;.;;8.;;.;;.

9.;;.;;.

10.;;.;;.

2.2. Построить графики произвольного вектора. Дать заголовок, разместить подписи к осям, нанести сетку. Варианты к заданию 2.2:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вариант | Элементы вектора | Примечание |
| 1 | 5 3 7 6 4 3 1 2 2 7 2 4 2 2 |  |
| 2 | 4 8 1 3 1 7 4 5 8 4 3 8 7 2 |  |
| 3 | 1 3 9 2 3 3 3 1 7 2 2 6 1 8 |  |
| 4 | 2 4 3 3 1 3 6 7 4 2 8 3 2 3 |  |
| 5 | 8 4 5 9 6 5 9 6 9 1 7 1 7 8 |  |
| 6 | 5 3 6 8 7 1 6 8 4 2 3 4 4 2 |  |
| 7 | 1 2 4 1 8 7 2 2 1 7 3 3 6 1 |  |
| 8 | 6 6 5 2 7 8 3 3 8 1 9 1 1 2 |  |
| 9 | 1 9 4 1 8 4 2 3 8 4 7 4 2 1 |  |
| 10 | 9 1 7 3 2 3 8 7 3 6 2 8 6 2 |  |
| 11 | 3 6 7 7 5 4 2 6 2 7 6 4 6 3 |  |
| 12 | 2 7 2 7 2 2 4 4 4 6 3 4 5 2 |  |
| 13 | 5 3 6 4 3 3 7 7 3 7 3 7 8 4 |  |
| 14 | 7 5 1 5 4 9 4 6 2 3 5 3 5 5 |  |
| 15 | 1 5 2 2 1 4 3 1 8 1 5 2 4 5 |  |

2.3. Представить в **MATLAB** цифровой единичный импульс *u0(n)* вида (2.3) длины N=(11+номер варианта).

2.4. Представить в **MATLAB** цифровой единичный скачок *u1(n)* вида (2.6) длины N=(11+номер варианта).

2.5. Представить в **MATLAB** дискретные экспоненты вида (2.9) длины N при заданном *а*. Варианты к заданию 2.5:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | N | *а* | Примечание |
| 1 | 5 | 0,95 |  |
| 2 | 6 | 0,90 |  |
| 3 | 7 | 0,85 |  |
| 4 | 8 | 0,80 |  |
| 5 | 9 | 0,75 |  |
| 6 | 10 | 0,70 |  |
| 7 | 11 | 0,65 |  |
| 8 | 12 | 0,60 |  |
| 9 | 13 | 0,55 |  |
| 10 | 14 | 0,50 |  |
| 11 | 15 | 0,45 |  |
| 12 | 15 | 0,40 |  |
| 13 | 17 | 0,35 |  |
| 14 | 18 | 0,30 |  |
| 15 | 19 | 0,25 |  |

2.6. Представить 34 отсчёта дискретного комплексного гармонического сигнала вида (2.12) при заданных *А* и *ώ*. Варианты к заданию 2.6:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | N | *ώ* | Примечание |
| 1 | 2,5 | *π* / 8 |  |
| 2 | 2,7 | *π* / 9 |  |
| 3 | 2,9 | *π* / 10 |  |
| 4 | 3,1 | *π* / 11 |  |
| 5 | 3,3 | *π* / 12 |  |
| 6 | 3,5 | *π* / 13 |  |
| 7 | 3,7 | *π* / 14 |  |
| 8 | 3,9 | *π* / 15 |  |
| 9 | 4,1 | *π* / 16 |  |
| 10 | 4,3 | *π* / 17 |  |
| 11 | 4,5 | *π* / 18 |  |
| 12 | 4,7 | *π* / 19 |  |
| 13 | 4,9 | *π* / 20 |  |
| 14 | 5,1 | *π* / 21 |  |
| 15 | 5,3 | *π* / 22 |  |

2.7. Для заданных воздействия и импульсной характеристики ЛДС найти реакцию системы. Варианты исходных данных к заданию 2.1 приведены в таблице ниже.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Воздействие, | | | | | | | | | | ИХ, | | | | | | | | | |
| варианты индивидуальных заданий | | | | | | | | | | варианты индивидуальных заданий | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 3 |  | | | | | | | | | | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 3 | 2 |

2.8. Для заданных воздействия и реакции найти импульсную характеристику ЛДС. Варианты исходных данных к заданию 2.2 приведены в таблице ниже.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Воздействие, | | | | | | | | | | реакция | | | | | | | | | |
| варианты индивидуальных заданий | | | | | | | | | | варианты индивидуальных заданий | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 3 | 6 | 6 | 2 | 0 | 0 | 9 | 2 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 | 12 | 7 | 4 | 2 | 15 | 7 |
| 2 |  | | | | | | | | | | 3 | 3 | 2 | 5 | 12 | 7 | 0 | 6 | 9 | 6 |
| 3 | 4 | 1 | 2 | 6 | 12 | 5 | 2 | 2 | 12 | 9 |
| 4 | 5 | 0 | 1 | 8 | 12 | 8 | 2 | 4 | 18 | 3 |
| 5 | 3 | 2 | 0 | 3 | 6 | 4 | 4 | 0 | 9 | 9 |

2.9. Проверить ЛДС и формулу свёртки на линейность и запаздывание. Для этого:

2.9.1. Умножить вектор воздействия своего варианта на постоянное число, например, 2. Для импульсной характеристики по п. 2.1 найти реакцию.

2.9.2. Умножить вектор импульсной характеристики своего варианта на постоянное число, например, 3. Для воздействия по п. 2.1 найти реакцию.

2.9.3. Внести запаздывание в воздействие на постоянное число отсчётов, например, 2. При воздействии без запаздывания, показанной во второй строке нижеприведенной таблицы, воздействие с запаздыванием будет равно показанному в третьей строке той же таблицы

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер отсчёта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Воздействие без запаздывания | 1 | 2 | 2 |  |  |  |
| Воздействие с запаздыванием | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 |  |

Для импульсной характеристики по п. 2.1 найти реакцию.

2.9.4. Внести запаздывание в импульсную характеристику на постоянное число отсчётов, например, 3, по образцу таблицы в п. 2.3.3. Для воздействия по п. 2.1 найти реакцию.

2.10. Промоделировать лаботу ЛДС (КИХ-фильтра) с помощью программы, приведенной в п. 1.3.5-1.3.6. Воздействие и другие данные взять из примера, а варианты исходных данных по виду импульсной характеристики приведены в таблице ниже.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ИХ, | | | | | | | | | |
| варианты индивидуальных заданий | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.5 | 0.4 | 0.1 |
| 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.7 | 0.6 | 0.5 |
| 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.9 | 0.6 | 0.9 | 0.8 | 0.9 |

3. Содержание отчёта.

3.1. Название курса, название и номер лабораторной работы, ф. и. о. и номер группы студента, дату выполнения работы.

3.2. Запись своих индивидуальных заданий и диалога с ЭВМ по пп. 2.1-2.10.

3.3. Построенные вручную графики зависимостей от числа отсчётов  воздействия, импульсной характеристики и реакции ЛДС по пп. 2.7-2.8.

3.4. Графики зависимостей от числа отсчётов  по п. 2.4.

3.5. Вывод по п. 2.9 и работе в целом

4. Задания для самоподготовки и самопроверки

4.1. Опишите окно, появляющееся при запуске MATLAB.

4.2. Расскажите о режимах работы в среде MATLAB.

4.3. Приведите варианты простейшего диалога в MATLAB в командном режиме в окне команд.

4.4. Запишите число, комплексно-сопряжённое с числом «5–10j».

4.5. Запишите ответ компьютера при вводе в окно команд символьного выражения '2+3' и нажатии клавиши «Ввод». Свой ответ проверьте на компьютере.

4.6. Объясните, когда два комплексных числа считаются равными (для обоих видов записи комплексных чисел – в виде суммы и в виде экспоненты)..

4.7. Запишите ответ компьютера при вводе в окно команд выражения j и нажатии клавиши «Ввод». Свой ответ проверьте на компьютере.

4.8. Выполните операцию сложения двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде суммы действительной и мнимой части. Свой ответ проверьте на компьютере. Представьте операцию графически.

4.9. Выполните операцию вычитания двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде суммы действительной и мнимой части. Свой ответ проверьте на компьютере. Представьте операцию графически.

4.10. Выполните операцию умножения двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде суммы действительной и мнимой части. Свой ответ проверьте на компьютере. Представьте операцию графически.

4.11. Выполните операцию деления двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде суммы действительной и мнимой части. Свой ответ проверьте на компьютере. Представьте операцию графически.

4.12. Выполните операцию сложения двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде экспоненты, имеющей модуль и фазу. Свой ответ проверьте на компьютере. Представьте операцию графически.

4.13. Выполните операцию вычитания двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде экспоненты, имеющей модуль и фазу. Свой ответ проверьте на компьютере. Представьте операцию графически.

4.14. Выполните операцию умножения двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде экспоненты, имеющей модуль и фазу. Свой ответ проверьте на компьютере. Представьте операцию графически.

4.15. Перечислите и запишите в MATLAB наиболее употребительные встроенные элементарные функции. Приведите примеры их записи и проверьте правильность её на компьютере.

4.16. Выполните операцию деления двух выбранных Вами комплексных чисел, представленных в виде экспоненты, имеющей модуль и фазу. Свой ответ проверьте на компьютере.

Дополнительно к вышеприведенным вопросам:

4.1. Что такое последовательность? Какие виды последовательностей Вы знаете?

4.2. Изобразите графически Ваше представление о 2-элементном, 3- элементном и 4- элементном векторе. Продемонстрируйте графически сложение указанных векторов.

4.3. Изложите общие правила вывода графиков.

4.4. С помощью какой функции строится в MATLAB двумерный график в линейном масштабе? Опишите основные форматы этой функции.

4.5. Можно ли строить в MATLAB график функции в масштабе, отличном от линейного?

4.6. С помощью какой функции строится в MATLAB график последовательности? Опишите основные форматы этой функции

4.7. Расскажите об основных средствах оформления графиков.

4.8. Запишите команды построения двумерного графика выбранной Вами функции. Свой ответ проверьте на компьютере.

4.9. Запишите команды представления цифрового единичного импульса выбранных Вами параметров. Свой ответ проверьте на компьютере.

4.10. Запишите команды представления цифрового единичного скачка выбранных Вами параметров. Свой ответ проверьте на компьютере.

4.11. Запишите команды представления дискретной экспоненты выбранных Вами параметров. Свой ответ проверьте на компьютере.

4.12. Запишите команды представления дискретной комплексной экспоненты (дискретного комплексного гармонического сигнала) выбранных Вами параметров. Свой ответ проверьте на компьютере.

4.13. Задан дискретный сигнал, представляющий собой последовательность из 5-и отсчётов: x(n)= {x(0); x(1); x(2); x(3); x(4)}= {5; 2; 1; 0,1; 10}. Определите отсчёт x(4) (с выводом). Сделайте вывод.

4.14. Что такое нормированное время?

4.15. Что такое нормированная частота?

4.16. Докажите на предложенном Вами примере, отличном от приведенного в конспекте, что для ЦОС важны не абсолютные значения частоты сигнала и частоты дискретизации, а их отношение, т.е. значение нормированной частоты..

4.17. Сформулируйте теорему Котельникова.

4.18. Приведите пример (примеры) применения теоремы Котельникова в ЦОС.

4.19. Изобразите и поясните обобщённую схему ЦОС.

Дополнительно к вышеприведенным вопросам:

4.1.Поясните графически отличие друг от друга аналогового, дискретного и цифрового сигнала**.**

4.2. Запишите формулу единичного цифрового импульса и поясните её графически.

4.3. Запишите формулу задержанного единичного цифрового импульса и поясните её графически.

4.4. Запишите формулу единичного цифрового скачка и поясните её графически.

4.5. Запишите формулу задержанного единичного цифрового скачка и поясните её графически.

4.6. Что такое решётчатая функция, период и частота дискретизации?

4.7. Приведите формулы известных Вам цифровых воздействий.

4.8. Что такое нормированная частота и нормированное время?

4.9. Что такое ЛДС?

4.10. Как взаимосвязаны воздействие, ИХ и реакция ЛДС? Запишите формулу. Как называется эта формула?

4.11. Рассчитайте вручную реакцию ЛДС на заданное воздействие по известной ИХ.

4.12. Рассчитайте вручную ИХ ЛДС на заданное воздействие по известной её реакции.

4.13. Запишите формулу дискретной синусоиды и поясните её графически.

4.14. Запишите формулу дискретной косинусоиды и поясните её графически.

4.15. Запишите формулу дискретной комплексной экспоненты и поясните её графически.

4.16. Как влияет на реакцию умножение воздействия на постоянную величину?

4.17. Как влияет на реакцию умножение импульсной характеристики на постоянную величину?

4.18. Как влияет на реакцию запаздывание воздействия на постоянную величину отсчётов?

4.19. Как влияет на реакцию введение запаздывания на постоянную величину отсчётов в импульсную характеристику?