**ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ № 2, 3**

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ И СПЕКТРЫ СИГНАЛОВ

ЦЕЛЬ РАБОТ

Целью данных практических занятий является ознакомление со свойствами непрерывных, дискретных и цифровых сигналов. Изучение на базе пакета *MatLab* спектров периодических и непериодических цифровых сигналов с помощью дискретного преобразования Фурье.

ВВЕДЕНИЕ

Сигналы, определённые на конечном или бесконечном интервале, можно рассматривать как непрерывные (сигналы непрерывного времени) и дискретные (сигналы дискретного времени). Непрерывные или аналоговые сигналы *x*(*t*) являются непрерывными функциями непрерывного аргумента *t* и поэтому определены на бесконечном количестве точек времени любого, даже конечного интервала [0, *Тс*]. Такие сигналы также называются континуальными.

Под дискретизацией сигналов понимают преобразование функций непрерывных переменных в функции дискретных переменных, представляемые совокупностью значений (отсчетов), по которым исходные непрерывные функции могут быть восстановлены с заданной точностью.

Дискретные сигналы, в отличие от непрерывных, определены в фиксированные моменты времени *nT*, где *Т* – период дискретизации, и, следовательно, на конечном интервале имеют конечное число точек определения, а на бесконечном – бесконечное.

**Связь непрерывного и дискретного сигналов**

Рассмотрим простейший процесс преобразования непрерывного сигнала *x*вх(*t*) в дискретный *x*вых(*t*), который физически реализуется при помощи устройства, называемого ключом (рис. 1).

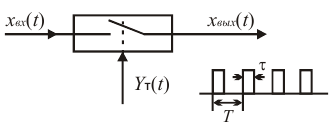


Рис. 1.

Сигнал, подвергаемый преобразованию, подаётся на вход ключа. На управляющий вход ключа поступает последовательность дискретизирующих импульсов *YТ*(*t*), обеспечивающих замыкание ключа на время действия импульса. Если значение *YТ*(*t*) в паузе равно нулю, а амплитуда импульса – единице, то сигнал на выходе ключа имеет вид *xвых*(*t*) = *xвх*(*t*)*YТ*(*t*).

Рассмотрим временные диаграммы сигналов. На рис. 2а изображен поступающий на вход ключа непрерывный сигнал *xвх*(*t*), определённый на интервале [0, *Тс*]. Выходной сигнал зависит от длительности импульса дискретизирующей последовательности τ (рис. 2б), в течение которого ключ замкнут, и отношения *Тс*/*Т*. Остановимся на частном случае, когда *Тс*/*Т=N*, где *N* – некоторое целое число. Сигнал на выходе ключа, соответствующий этому случаю, изображен на рис. 2в.

Выходной сигнал на интервале [0, *Т*] можно записать через *rect-*функцию – математическую модель дискретизирующего импульса

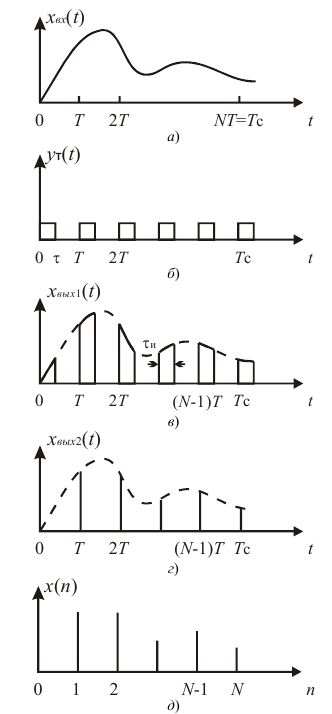


Рис. 2

На интервалах времени [*nT*, *nT*+τи], т.е. когда ключ замкнут, мгновенные значения выходного сигнала совпадают с соответствующими значениями входного. Если 0<τи<*Т*, то ключ, а следовательно, и выходной сигнал *xвых1*(*t*) физически реализуем.

При τи→0 имеем *rect*(*t*)→δ(*t*), тогда  Здесь δ(*t*) – дельта-функция, δ(*t*)=1 при *t*=0, δ (*t*)=0, при *t*≠0.

И *xвых1*(*t*) и *xвых2*(*t*) – дискретные сигналы, определенные в любой точке интервала [0, *Тс*]. В отличие от *xвых1*(*t*), *xвых2*(*t*) является математической моделью физически нереализуемого сигнала потому, что импульс с нулевой длительностью является математической абстракцией. Абстрактен и сам сигнал *xвых2*(*t*), условно изображенный на рис. 2г.

Переход к безразмерному времени *n*, имеющему смысл номера отсчета или порядкового номера числа в последовательности *x*(*n*) изображен на рис. 2д.

Для получения конечной точности представления дискретного сигнала используется квантование. Квантованная последовательность *x*(*n*) называется цифровым сигналом. Такой сигнал отличается от дискретного сигнала, который можно считать предельным случаем цифрового при стремлении количества разрядов в представлении чисел к бесконечности.

**Ряд Фурье**

Периодическую функцию любой формы, заданную на интервале одного периода *Т = b-a* и удовлетворяющую на этом интервале условиям Дирехле (ограниченная, кусочно-непрерывная, с конечным числом разрывов 1 рода), можно представить в виде ряда Фурье:

 2/*T*. (1)

. (2)

Ряд Фурье представляет собой ансамбль единичных гармонических функций exp(*jn**t*) с весовыми коэффициентами *XT*(*n*), на которые можно разложить периодический сигнал *xT*(*t*). Функцию весовых коэффициентов *XT*(*n*) принято называть комплексным частотным спектром периодического сигнала или Фурье-образом функции *xT*(*t*). Спектр периодического сигнала дискретен, т.к. функция определена только для целых значений *n* с шагом по частоте, обратным периоду: = 2/*Т* (или *f* = 1/*T*). Значения *X*(*n*) по положительным и отрицательным значениям *n* являются комплексно сопряженными.

Подынтегральную функцию экспоненты в выражении (2) можно разложить на составляющие и выразить комплексный спектр в виде действительной и мнимой части:



.

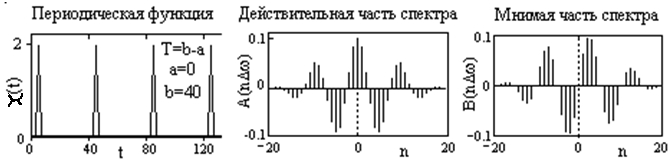


Рис. 3. Сигнал и его комплексный спектр.

На рис. 3 приведен пример периодического сигнала (треугольный импульс на интервале (3-5), повторяющийся с периодом *Т*=40) и форма действительной и мнимой части его спектра. Действительная часть спектра является четной относительно нуля функцией *A*(*n*)=*A*(-*n*), а мнимая часть спектра - нечетной функцией *B*(*n*)=-*B*(-*n*).

Другая форма записи комплексного спектра:

*XT* (*n*) = *R*(*n*)exp[*j*(*n*)], *R*2(*n*) = *A*2(*n*)+*B*2(*n*), (*n*) = arctg(-*B*(*n*)/A(*n*)).

Модуль спектра *R*(*n*) называют двусторонним спектром амплитуд, а аргумент спектра, последовательность фазовых углов (*n*) - двусторонним спектром фаз. Спектр амплитуд представляет четную функцию *R*(*n*) = *R*(-*n*), а спектр фаз нечетную (*n*) = -(-*n*). Пример спектров, альтернативных представлению на рис. 3, приведен на рис. 4.

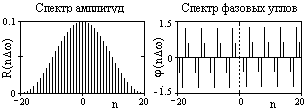


Рис. 4. Модуль и аргумент комплексного спектра

**Интеграл Фурье**

Спектры непериодических сигналов конечной длительности, заданных на интервале *Т*, могут быть получены из уравнений для рядов Фурье как предельные значения функций при расширении периода *Т* до бесконечности. При этом дискретные частоты *n* обращаются в непрерывные текущие значения , а суммирование амплитудных значений в (1) заменятся интегрированием:

 (3)

. (4)

На рис. 5 сплошной кривой приведен пример непрерывного сигнала *x*(*t*), энергия которого сосредоточена на конечном интервале *T* = (0, 25).

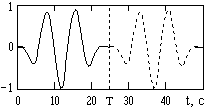


Рис. 5.

Если нас не интересует форма сигнала за пределами интервала *Т*, то спектр сигнала в виде ряда Фурье можно определить по формуле (2). При обратном преобразовании Фурье по формуле (1), в интервале *Т* будет восстановлен исходный сигнал *x*(*t*). Но если интервал для восстановления будет задан больше интервала *Т*, то за пределами этого интервала начнется периодическое повторение исходного сигнала, как это показано пунктиром на рис. 4. Если такой процесс нежелателен и за пределами интервала *Т* должны быть сохранены нулевые значения сигнала, необходимо использовать интегральное преобразование Фурье (3-4).

Спектральная функция *X*() представляет собой не спектр, а комплексную спектральную плотность сигнала, непрерывную на частотном интервале от -∞ до ∞. Она содержит четную действительную и нечетную мнимую части:

*X*() = *A*() - *jB*(),

, .

Еще раз подчеркнем различие между спектрами и спектральными функциями сигналов. При практическом использовании формулы (4) для вычисления спектральных функций конечных сигналов, заданных на определенном интервале *Т*, пределы интегрирования обычно устанавливаются по границам интервала *Т*, так как нет необходимости выполнять интегрирование в бесконечных пределах, если за пределами интервала *Т* мы имеем нулевые (или незначимые) значения сигнала. Однако при сравнении формулы (4) с выражением (2) можно видеть, что значения интеграла (4) не нормируются на величину интервала *Т*. Отсюда следует, что прямые числовые отсчеты значений модуля функции *X*() для определенных значений *i* не являются амплитудными значениями соответствующих гармонических колебаний с частотой *i*. Значения *X*() по сравнению со значениями функции *X*(*n*) по (2) при *n*=*i* завышены на множитель *Т*. Это можно объяснить тем, что обратное преобразование Фурье по (1) представляет собой прямое суммирование гармоник с соответствующими амплитудами колебаний, в то время как интегрирование в (3) представляет собой предельное суммирование значений *X*(*i*)*d**i*, где *d* = 2/*T* при *T→*∞.

**Спектр дискретного сигнала**

Запишем периодическую последовательность дискретизирующих импульсов *YТ*(*t*) в виде:



где ω1=2π/*Т*, φ*n* характеризует задержку последовательности импульсов *YT*(*t*) на 0,5τ. Тогда

.

Первому слагаемому в правой части соответствует спектр *Xвх*(ω) исходного сигнала, а каждому из произведений *xвх*(*t*)cos(*n*ω1*t*+φ*n*) – спектр [*Xвх*(ω-*n*ω1)+*Xвх*(ω+*n*ω1)]/2. Следовательно, искомый спектр определяется выражением



Графики модулей функций *Xвх*(ω) и *Xвых*(ω) приведены на рис. 6а и б, в соответственно. Итак, спектр *Xвых*(ω) дискретного сигнала, полученного из непрерывного, представляет собой последовательность спектров *Xвх*(ω) исходного сигнала *xвх*(*t*), сдвинутых один относительно другого на ω1=2π/*Τ* и убывающих по закону sinc(*n*πτ/*Τ*). Множитель τ/*Τ* отражает уменьшение модуля спектра *Xвых*(ω) сигнала *xвых*(*t*) по сравнению с модулем спектра *Xвх*(ω) сигнала *xвх*(*t*), поскольку энергия сигнала *xвых*(*t*) меньше энергии сигнала *xвх*(*t*) в τ/*Τ* раз. Поэтому изображенные на рис. 6 модули спектров можно рассматривать как нормированные.

С уменьшением отношения τ/*Τ* лепестки спектра убывают медленнее и в пределе при τ→0 спектр приобретет строго периодическую структуру с нулевыми уровнями лепестков, то соответствует спектру дискретного сигнала. На рис. 6 б-г приведены спектры сигналов для трех последовательно уменьшающихся значений τ.

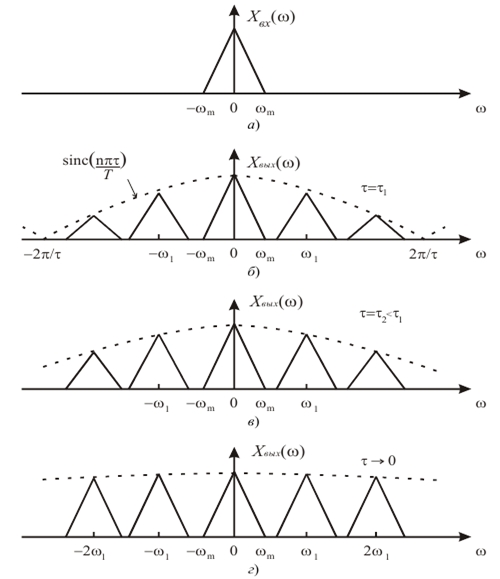


Рис. 6.

**Соотношения между спектрами непрерывного и дискретного сигналов**

Рассмотрим математическую модель дискретного сигнала *x*(*nT*). Установим связь между спектром *X*(e*j*ω*T*) последовательности *x*(*nT*) и преобразованием Фурье *Хн*(*j*Ω) непрерывного сигнала *x*(*t*) и обсудим следствия, вытекающие из нее.

Пара преобразований Фурье для непрерывного сигнала *x*(*t*) имеет вид

 .

Аналогичные соотношения для дискретного сигнала имеют вид

 .

Заменив Ω на ω+2π*m*/*T* и произведя необходимые подстановки, получим искомое соотношение



Из этой формулы видно, что периодическая спектральная функция последовательности *x*(*nT*) состоит из суммы бесконечного числа спектральных компонентов непрерывного сигнала.

Если спектр непрерывного сигнала ограничен диапазоном частот |Ω|≤ π/*T*, т.е. *Xн*(*j*Ω)=0 при |Ω|> π/*T*, из последнего соотношения следует, что в диапазоне частот |ω|≤ π/*T* имеем



Связь спектра последовательности со спектром непрерывного сигнала в этом случае показана на рис. 7.

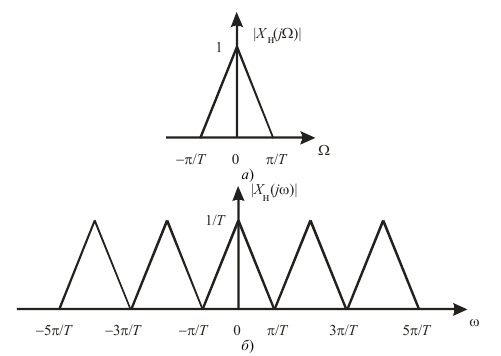


Рис.7.

Если же *Xн*(*j*Ω) не ограничен диапазоном |Ω|≤ π/*T*, то соотношение между спектрами дискретного и непрерывного сигналов оказывается более сложным. Покажем типичный пример (рис. 8а-в). Спектр непрерывного сигнала (рис. 8а) ограничен полосой |Ω|≤ 3π/2*T*. При этом члены с *m*=0, ± 1 дают вклад в *X*(e*j*ω*T*) в диапазоне частот |ω|≤ π/T (рис. 8б). Поэтому в отличие от предыдущего примера спектр последовательности (рис. 7в) связан со спектром исходного сигнала значительно более сложным образом.

Причина заключается в том, что частота дискретизации 1/*T* была недостаточно большой и высокочастотные составляющие спектра *Xн*(*j*Ω) попали в область более низких частот в спектре *X*(e*j*ω*T*). Такое смещение спектральных составляющих из одного диапазона в другой называют наложением спектров. Наложения можно избежать, производя практическую дискретизацию непрерывного сигнала с достаточно высокой частотой. Теоретическое минимальное значение такой частоты дает

*Теорема Котельникова-Найквиста-Шеннона*: если спектр сигнала ограничен частотой *F*=ω*m*/2π (см. рис. 2.6а), то после дискретизации сигнала с частотой не менее 2*F* можно восстановить исходный непрерывный сигнал по полученному цифровому сигналу абсолютно точно. Для этого нужно интерполировать цифровой сигнал функциями вида sinc(*n*πτ/*Τ*).

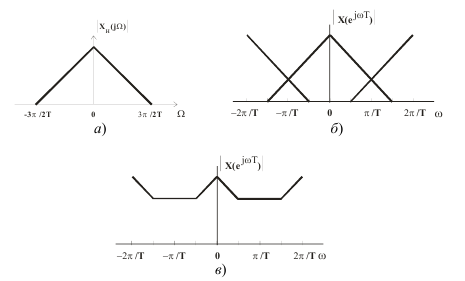


Рис. 8.

**Дискретное преобразование Фурье**

Прямое и обратное дискретные преобразования Фурье сигнала *s*(*t*) могут быть получены непосредственно из преобразований (2.3, 2.4) дискретизаций аргументов (*tk=k**t, ωn=n**f*):

,  (5)

  (6)

Напомним также, что дискретизация функции по времени приводит к периодизации ее спектра, а дискретизация спектра по частоте - к периодизации функции. Для дискретных преобразований и функция, и ее спектр дискретны и периодичны, а числовые массивы их представления соответствуют заданию на главных периодах *Т = N**t* (от 0 до *Т* или от -*Т*/2 до *Т*/2) и 2ω*N*= *N*ω (от -ωN до ωN), при этом: ω= 1/*T* = 1/(*N**t*), *t* = 1/2ωN = 1/(*N*ω), *t*ω= 1/*N*.

Последние соотношения являются условиями информационной равноценности временной и частотной форм представления сигналов. Другими словами: число отсчетов функции и ее спектра должны быть одинаковыми. Но ведь каждый отсчет комплексного спектра представляется двумя вещественными числами и, соответственно, число числовых отсчетов комплексного спектра в 2 раза больше отсчетов функции? Это так. Но представление спектра в комплексной форме - удобное математическое представление реальной вещественной спектральной функции, отсчеты которой образуются сложением двух сопряженных комплексных отсчетов. Полная информация о спектре функции в комплексной форме заключена только в одной его половине - отсчетах действительной и мнимой части комплексных чисел в частотном интервале (0, ω*N*), т.к. информация второй половины диапазона (-ω*N*, 0) является комплексно сопряженной с первой половиной, никакой дополнительной информации не несет.

При дискретном представлении сигналов аргумент *tk* измеряется в числе отсчетов *k* (по умолчанию принимается *t*=1), а обратное дискретное преобразование Фурье выполняются по аргументу *n* на главных периодах. При значениях *N*, кратных 2:

 (7)

 (8)

Главный период спектра в (7) для циклических частот от -0.5 до 0.5, для угловых частот от - до . Для исключения отрицательных частот и использования идентичных алгоритмов прямого и обратного преобразования Фурье главный период спектра рассматривается в интервале (0, 2ω*N*) (0≤*n*≤*N*), суммирование в (8) производится соответственно от 0 до *N*-1. При этом комплексно сопряженным отсчетам *S*\*(*n*) соответствуют отсчеты *S*(*N-n*).

 (9)

 (10)

Формулы (9, 10) носят название прямого и обратного дискретных преобразований Фурье.

Пример:На интервале *Т* = [0, 100] задан сигнал *s*(*k*) =(*k-i*) - прямоугольный импульс с единичными значениями на точках *k* от 3 до 8. Форма сигнала и его спектра в главном частотном диапазоне, вычисленном по формуле *S*(*n*) =*s*(*k*)⋅exp(-*j*2*kn*/100) с нумерацией по *n* от -50 до +50 с шагом по частоте, соответственно,  = 2/100, приведены на рис. 9.

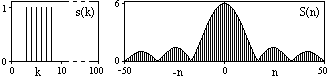


Рис. 9. Дискретный сигнал и его спектр

**ЗАДАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2**

Написать *m-*функцию *lab*2, которая выполняет следующие действия.

1. Сгенерировать входной сигнал, как сумму 3-х синусоид различной частоты , *a, b, c* вводятся с клавиатуры (функция input()).

2. Сгенерировать сумму *y*2(*t*)=*y*1(*t*)+ε(*t*) входного сигнала и шума, имеющего равномерный закон распределения (функция rand()) и амплитуду ~10% от амплитуды сигнала.

3. Выполнить прямое быстрое преобразование Фурье *y*2(*t*) и *y*1(*t*) (функция fft()).

4. Выполнить обратное быстрое преобразование Фурье *Y*2(ω) и *Y*1(ω) (функция fft()).

5. Сравнить полученные в п. 2.4 сигналы с *y*2(*t*) и *y*1(*t*) (построить графики невязок).

6. Оформить графики всех 4 сигналов в одном подокне, а соответствующих спектров в другом подокне одного окна (функция subplot()). Цвета графиков сигналов и соответствующих спектров должны совпадать. Сделать подписи осей, оформить заголовки графиков.

**ЗАДАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3**

1. Выбрать сигнал *s*(*t*) из таблицы согласно варианту *I* (номеру в журнале успеваемости).

Таблица

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Сигнал** | **Параметры** | **Спектральная плотность** |
|  |  |  | *S*(ω)=1. |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 1 |  | *T*=π;  Ω=2 |  |
| 2 |  | *T*=25;  α=0.5 |  |
| 3 |  | *T*=15;  τ=6 |  |
| 4 |  | *T*=16;  α=1 |  |
| 5 |  | *T*=38;  *L*=13, τ=3 |  |
| 6 |  | *T*=10; *a*=1 |  |
| 7 |  | *T*=28;  *L*=13, τ=3 |  |
| 8 |  | *T*=10;  Ω=1 |  |
| 9 |  | *T*=10;  τ=2 |  |
| 10 |  | *T*=14;  τ=2 |  |
| 11 |  | *T*=13;  α=0.9, Ω=15 |  |
| 12 |  | *T*=15;  τ=3 |  |
| 13 |  | *T*=20;  2 |  |
| 14 |  | *T*=10;  τ=4 |  |
| 15 |  | *T*=6;  Ω=2, τ=2 |  |
| 16 |  | *T*=10;  2 |  |

2. Написать *m-*функцию *lab*3, которая, используя быстрое преобразование Фурье, строит модуль и аргумент комплексной спектральной плотности непериодического сигнала *s*(*k*).

3. Выбрать сигнал *s*(*t*) из таблицы согласно варианту с номером *IТ* = 16 + *I* и построить модуль и аргумент комплексного спектра периодического сигнала *sT*(*k*), полученного из сигнала *s*(*k*).

*M-*функция *lab*3 должна обладать сигнатурой:function [signal,time,amp\_spectrum,phase\_spectrum,frequency,params] = lab3(SigH,AmpH,PhH)

end

Входными параметрами *m-*функции *lab*3 являются дескрипторы осей координат, в которых осуществляется вывод сигнала, его амплитудного и фазового этой спектров:

*SigH* - дескриптор оси координат для вывода исходного сигнала;

*AmpH* - дескриптор оси координат для вывода амплитудного спектра;

*PhH* - дескриптор оси координат для вывода фазового спектра.

Выходными параметрами *m-*функции *lab*3 являются:

*signal* - сигнал;

*time* - время;

*amp\_spectrum -* амплитудный спектр сигнала;

*phase\_spectrum* - фазовый спектр сигнала;

*frequency* - частота;

*params* - дополнительные параметры для пункта 2 располагаются в столбце

«Параметры» Таблицы после знака «;». Параметры передаются в том порядке, в котором они указаны (Например, для пятого варианта: *params* = [*L tau*]). Для пункта 3 параметры перечисляются, начиная с дополнительного параметра - периода повторения *Т*.

4. Проверить правильность построения. Для этого скопировать содержимое папки *SP\_lab3\_Matlab*, расположенную в папке «Обработка сигналов», в рабочую папку, содержащую *m-*функцию *lab*3. Запустить программу *spectrum.p*, выбрать в ней вариант и нажать кнопку Проверить.

**Пояснение к программе *spectrum***

В верхней части окна программы расположены метки, в которых приведены критерии проверки. Если критерий соблюден, то после нажатия кнопки Проверить метка окрасится в зеленый цвет, иначе ее цвет станет красным. При возникновении ошибки можно нажать на красное поле, и в некоторых случаях получить конкретное описание ошибки (Рис. 10).

Значения критериев:

- Сигнал - отвечает за правильность генерации сигнала, согласно варианту, а также за правильность передачи параметров. Импульсные сигналы должны располагаться симметрично относительно центра графика по 100 отсчетов с каждой стороны оси ординат. Периодический сигнал должен начинаться в начале координат.

- Дискретизация сигнала - отвечает за правильность выбора частоты дискретизации сигнала по правилу Найквиста. Для импульсных (периодических) сигналов частота дискретизации должна быть больше, либо равна 210 (26) делений на единицу времени.

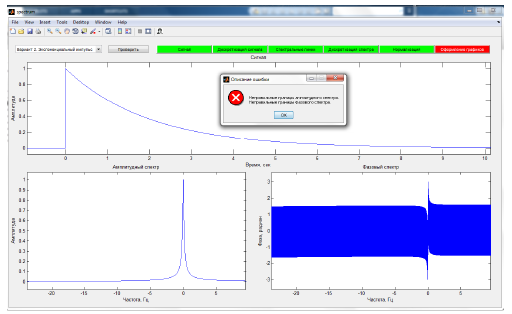


Рис. 10

- Спектральные линии - отвечает за правильность выбора количества линий частот быстрого преобразования Фурье. Количество спектральных линий должно равняться количеству отсчетов исходного сигнала.

- Нормализация - отвечает за правильность нормировки результата быстрого преобразования Фурье. Выполняется оператором Spectrum = 2\*Spectrum/NFFT, где Spectrum - спектр сигнала, а NFFT - количество линий спектра (см. документацию функции *fft*()).

- Дискретизация спектра - отвечает за правильность выбора частоты дискретизации спектра (зависит от частоты дискретизации сигнала и количества линий Фурье).

- Оформление графиков - отвечает за правильность представления графиков. Правила оформления:

оси координат и название графиков должны быть подписаны;

на графиках должны быть поля, которые увеличивают размер рисунка на 5 - 10% от максимальных значений переменных по всем осям (см. функцию *y\_lims*);

график импульса должен изображать импульс и нулевые отсчеты с каждой стороны. Нулевые отсчеты занимают по 30 - 40% общей длины импульса (см. Рис. 15). Если длительность импульса бесконечна, то импульс начинается и/или заканчивается на уровне 1% от максимального значения амплитуды;

график периодического сигнала должен отображать 3 - 5 периодов;

график амплитудного спектра периодического сигнала должен отображать диапазон частот от −1.1×max\_frequency до 1.1×max\_frequency Гц;

график фазового спектра периодического сигнала следует отображать в диапазоне частот [-0.1 Гц, 0.1 Гц];

график амплитудного спектра импульсного сигнала должен отображать диапазон частот, начиная с частоты, амплитуда спектра которой больше либо равна 3 - 5% от наибольшей амплитуды и заканчивая последней частотой, которая больше либо равна 3 - 5% от наибольшей амплитуды (см. Рис. 16);

график фазового спектра импульсного сигнала следует отображать в диапазоне частот [-1 Гц, 1 Гц].

Для упрощения оформления графиков на них реализованы подсказки (зелёные линии). На каждом графике имеется 4 зелёных линии. 2 левых демонстрируют нижний допустимый диапазон отсечения, 2 правых – верхний. Если на графике видны все 4 линии – выбранный диапазон отсечения слишком велик (Рис. 11). Если на графике не видна ни одна из линий - выбранный диапазон отсечения слишком мал (Рис. 12). При корректном выборе диапазона отсечения должны быть видны 2 внутренние границы отсечения (Рис. 13).

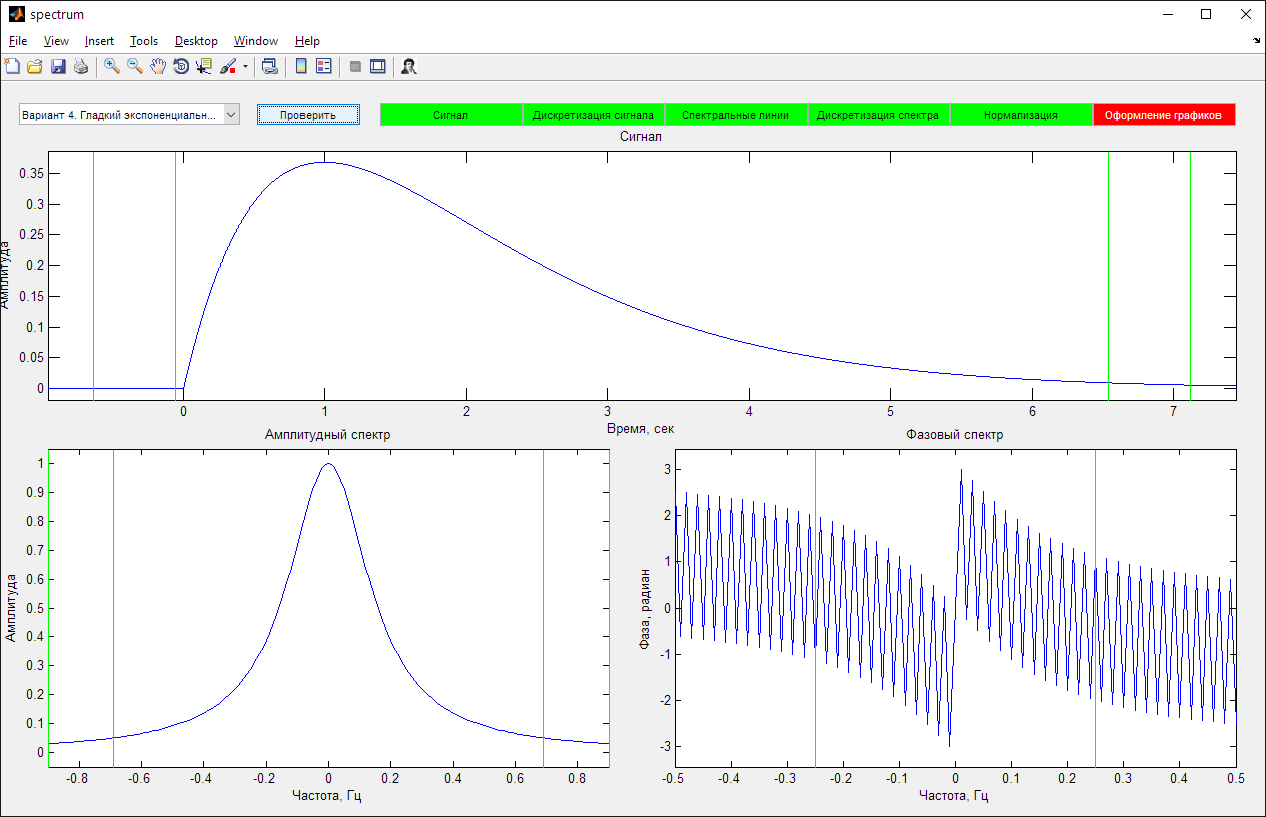


Рис. 11.

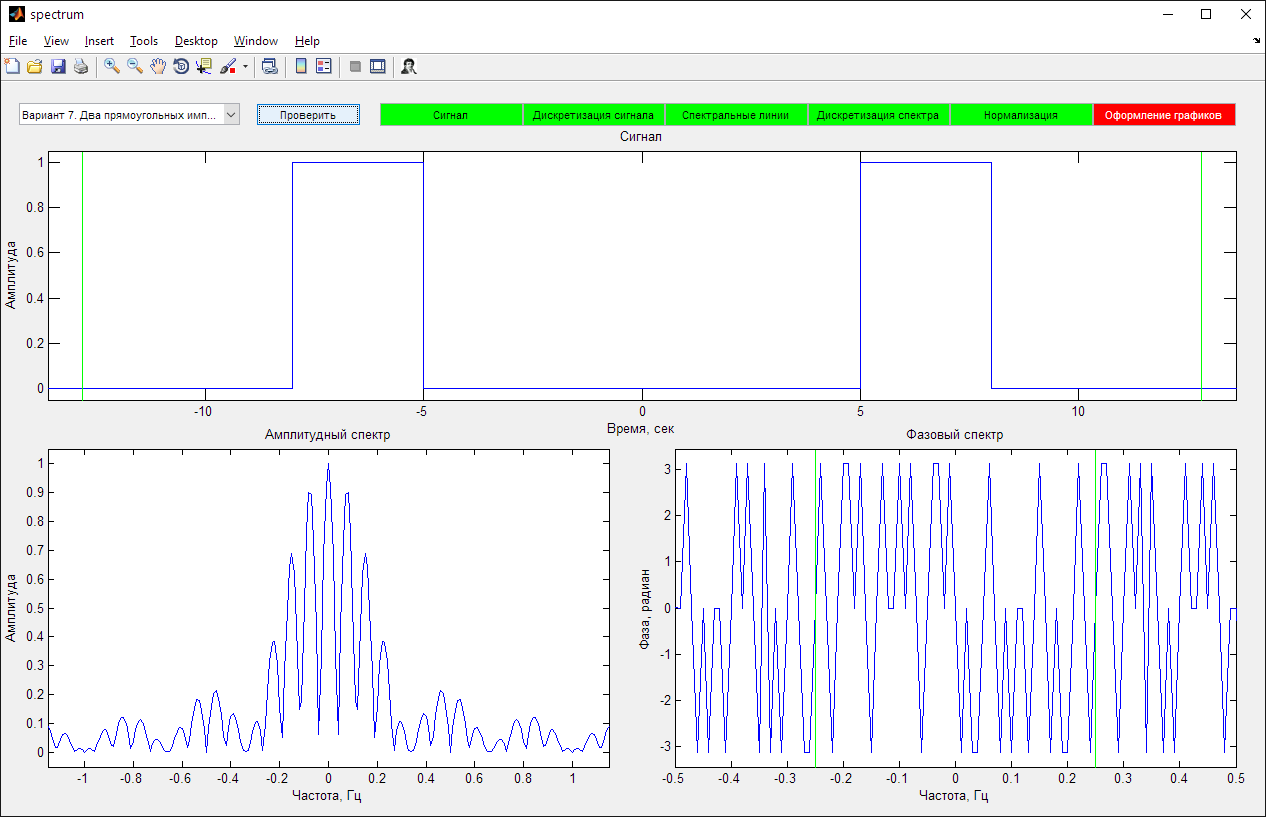


Рис. 12

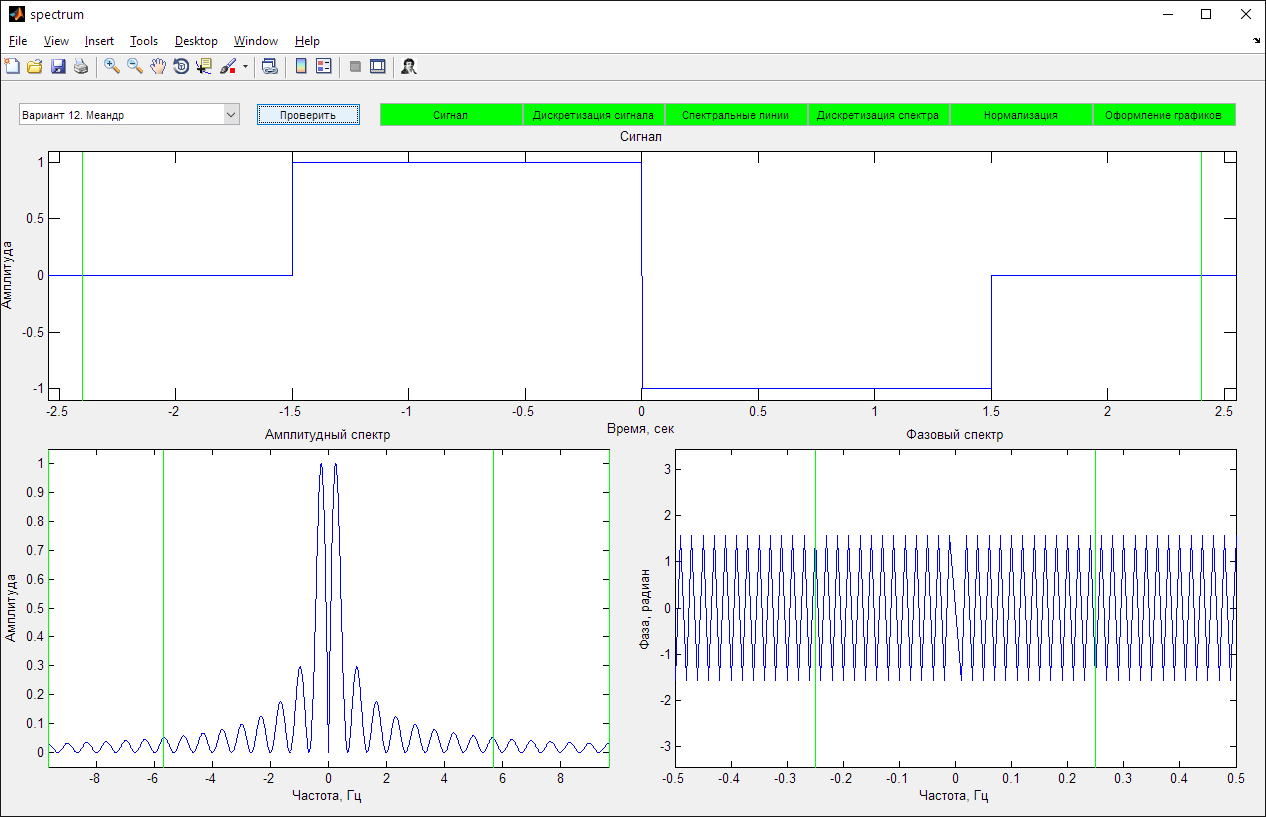


Рис. 13

С помощью переключателя с изображением Фурье (Рис. 14), размещенного на панели управления программы *spectrum,* можно вывести график амплитудного спектра Фурье, вычисленного аналитически (график зеленого цвета на Рис. 17). Переключатель активен только при наличии *m*-функции *lab*3.



Рис. 14

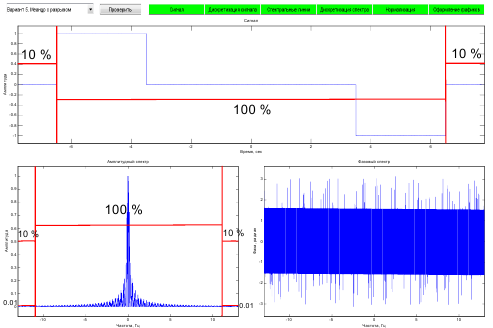


Рис. 15

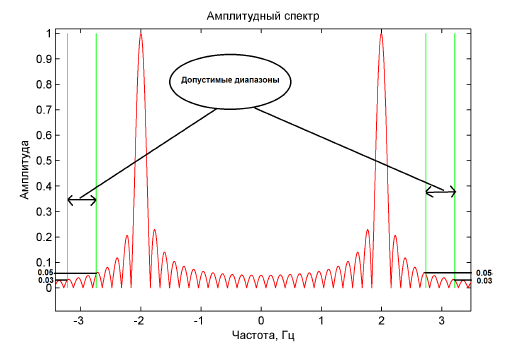


Рис. 16

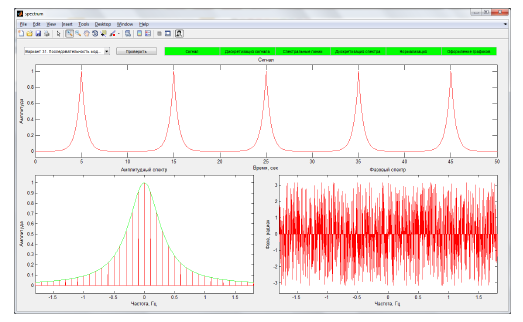


Рис. 17

Пример оформления *m*-функции *lab*3 для сигнала *y*1(*t*) из практического занятия №2.

function [signal, time, amplitude\_spectrum, phase\_spectrum, frequency, params] = ...lab3\_example(SigH, AmpH, PhaseH)

% Ввод частот синусоид

a = input('Введите частоту первой синусоиды: ');

b = input('Введите частоту второй синусоиды: ');

c = input('Введите частоту третьей синусоиды: ');

params = [a b c]; % Передача параметров для проверяющей программы

maxFrequency = max([a b c]); % Максимальная частота

Fs = maxFrequency\*10 + 1;% Частоты дискретизации сигнала

Tm = 100; % Длительность сигнала (в ед. времени)

T = 1/min([a b c]); % Наибольший период

time = 0:1/Fs:Tm; % Массив времени

signal = sin(a\*2\*pi\*time)+2\*sin(b\*2\*pi\*time)+1.5\*sin(c\*2\*pi\*time); % Генерация сигнала

NFFT = Fs\*Tm; % Количество спектральных линий

FFT\_res = fft(signal, NFFT); % Выполнение БПФ

FFT\_res = fftshift(FFT\_res); % Сдвиг результата БПФ

frequency=-Fs/2:Fs/NFFT:Fs/2-Fs/NFFT; % Массив частот

axes(SigH); % Сделать ось с дескриптором SigH активной

plot(time, signal); % Вывести график сигнала

xlim([0 T\*5]); % Ограничить вывод по оси времени 5 периодами сигнала

ylim([-4.5 4.5]); % Ограничить вывод по оси амплитуды

xlabel('Время, сек'); % Название оси X

ylabel('Амплитуда'); % Название оси Y

title('Сигнал'); % Название графика

axes(AmpH); % Сделать ось с дескриптором AmpH активной

amplitude\_spectrum = abs(FFT\_res); % Амплитудный спектр

amplitude\_spectrum = amplitude\_spectrum./max(amplitude\_spectrum); % Нормализация

plot(frequency, amplitude\_spectrum); % График амплитудного спектра

xlim([-maxFrequency\*1.1 maxFrequency\*1.1]); % Ограничить вывод по оси частот

ylim([-0.1 1.1]); % Ограничить вывод по оси амплитуды

xlabel('Частота, Гц'); % Название оси X

ylabel('Амплитуда'); % Название оси Y

title('Амплитудный спектр'); % Название графика

axes(PhaseH); % Сделать ось с дескриптором PhaseH активной

phase\_spectrum = angle(FFT\_res); % Фазовый спектр

plot(frequency, phase\_spectrum); % График фазового спектра

xlim([-maxFrequency\*1.1 maxFrequency\*1.1]); % Ограничить вывод по оси частот

ylim([-3.6 3.6]); % Ограничить вывод по оси амплитуды

xlabel('Частота, Гц'); % Название оси x

ylabel('Фаза, радиан'); % Название оси y

title('Фазовый спектр'); % Название графика

end

**Содержание отчета**

Титульный лист

Результаты выполнения заданий

Выводы по работе.

**ЛИТЕРАТУРА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ № 2, 3**

1. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов: пер. с англ / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М. : Мир, 1978. С. 37–39.
2. Оппенгейм, А.В. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ / А.В. Оппенгейм, Р.В. Шафер. – М.: Связь, 1979. С. 32–35.
3. Каппелини, В. Цифровые фильтры и их применение: пер. с англ / В. Каппелини, А.Дж. Константинидис, П. Эмилиани. – М.: Энергоатомиздат, 1983. С. 10–13.
4. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 1988. С. 122–123.
5. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский, М.П. Демин. – М. : Радио и связь, 1994. С. 56–65.