**Вопрос 1.**

**1. Основные понятия**

1. Сигнал любой формы можно разложить на синусоидальные составляющие с различными частотами, кратными целому числу. Совокупность этих составляющих называется спектром, а сумма этих составляющих формирует значение функции во временной области.
2. Разложение в ряд Фурье – это разложение периодической функции на синусоидальные составляющие с различными частотами. Периодический сигнал s(t) с периодом Т и основной угловой частотой  () при помощи коэффициентов Фурье можно представить в виде:



Где  и  действительные коэффициенты Фурье функции f(t), которые определяются следующим образом:

 (k=0,1,2….)  (k=0,1,2….)

Если функция s(t) – четная, то , если нечетная. То 

1. В отличии от разложения в ряд Фурье с действительными коэффициентами при разложении в ряд Фурье с комплексными коэффициентами вычисления значительно упрощаются. Разложение в комплексный ряд Фурье периодического сигнала s(t) с основной угловой частотой  () имеет вид:

 (1)

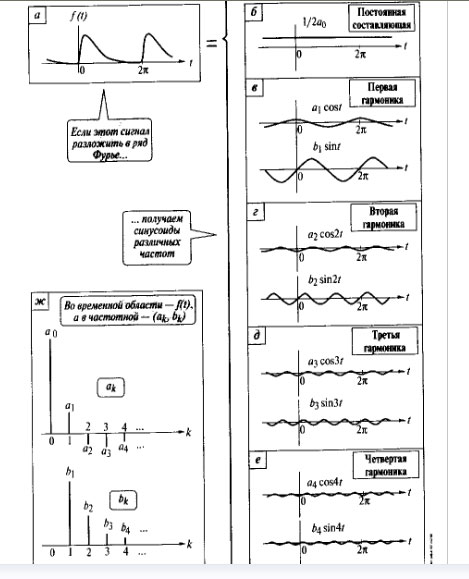
Комплексные коэфффициенты Фурье Сk сигнала s(t) вычисляются следующим образом:

 (k=0,1,2….) (2)

Подставив 1.2 в 1.1 , получим:

 0<t<T (3)

1. Если увеличивать количество гармоник, то точность приближения функции рядом Фурье повышается.
2. Под непрерывными кусочно-гладкими сигналами будем понимать сигнал, функция которого непрерывна в точке, причем возможно допустить устранимые разрывы первого рода. Область определения функции задается в каждом интервале, но она непрерывна (Пример: Фазоманипулированный сигнал).



**Рис. 1.** Разложение сигнала

**2. Интегральное преобразование Фурье**

Дискретное представление сигналов удобно для решения задач обработки сигналов, так как каждый сигнал может быть представлен конечным числом компонентов.

Однако в теоретических исследованиях, особенно при рассмотрении сигналов на бесконечном интервале, с отличной от периодического закона распределения, такое представление либо недостаточно, либо не возможно.

Но гармонический анализ периодических сигналов можно распространить на непериодические сигналы. При этом число гармонических составляющих, входящих в ряд Фурье, будет бесконечно большим, так как при основная частота функции . Т.о расстояние между спектральными линиями (Рис 2) равное основной частоте  становиться бесконечно малы, а спектр – сплошным.

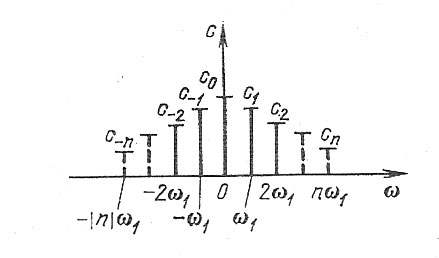
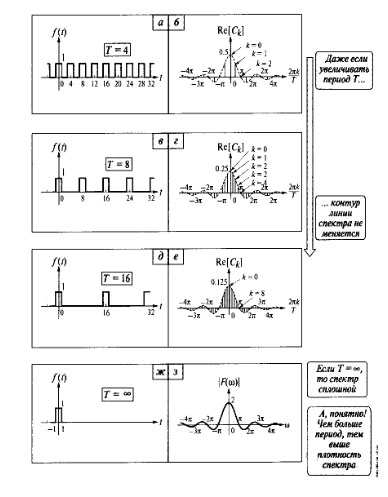


Рис 2.

Поэтому в выражении (1.3) можно заменить  на ,  на текущую частоту а операцию суммирования заменить интегрированием:

 (4)

Внутренний интеграл является функцией 

 (5)

называется **спектральной плотностью или спектральной характеристикой**. В общем случае, когда t1 и t2 не уточнены, спектральная плотность записывается в форме:

 (6)

Выражение (6) называют **прямое преобразование Фурье**

Подставляя (6) в (4) получаем

 (7)

Выражение (7) называют **обратным преобразование Фурье.**

**3. Интегральное преобразование Лапласа**

**Преобразова́ние Лапла́са** — интегральное преобразование, связывающее функцию  комплексного переменного (изображение) с функцией  действительного переменного (оригинал).

 (8)

 (9)

Данный спектральный метод, как и преобразование Фурье основан на том, что исследуемый сигнал представляется в виде суммы неограниченно большого числа элементарных слагаемых, каждое из которых изменяется во времени по закону 

Вместо комплексных экспоненциальные сигналов с чисо мнимыми показателями вводят в рассмотрение экспоненциальные показатели , где p – комплексное число

, получившее название комплексной частоты.

Изображения по Лапласу во всех точках комплексной плоскости являются аналитическими функциями. На практике применяют таблицы соответствия между оригиналами и изображениями.

**3 Интегральное преобразование Гильберта**

Часто радиоинженер сталкивается с радиосигналами, получаемые в результате одновременной модуляции амплитуды и частоты(или фазы) по очень сложному закону.

Предполагая, что заданный сигнал представляет собой узкополосный процесс, спектральные составляющие сигнала группируются в относительно узкой по сравнению с центральной частотой  частотой.

 (10)

При этом возникает неоднозначность из-за того что, и  изменяются по различным законам.

Неоднозначности можно избежать, при представлении  и с помощью следующих соотношений:

 и , (11)

где  новая функция, связанная с исходной соотношениями

  (12)

Эти соотношения называют преобразованиями Гильберта, а функция  - функция сопряженная (по Гильберту) исходной функции 

В точках, в которых =0, кривые  и  имеют общие касательные при этом в точках, где  обращается в 0, функция должна принимать значения, близкие к амплитудным, тогда можно рассматривать как простейшую огибающую функции

.

Преобразование Гильберта для любого произвольного сигнала представляет собой идеальный широкополосный фазовращатель, который осуществляет поворот начальных фаз всех частотных составляющих сигнала на угол, равный 90о (сдвиг на /2). Применение преобразования Гильберта позволяет выполнять квадратурную модуляцию сигналов, в каждой текущей координате модулированных сигналов производить определение огибающей и мгновенной фазы и частоты сигналов, выполнять анализ систем обработки сигналов.

**4. Аналитический сигнал**

**Аналитический сигнал** – это один из способов комплексного представления сигнала, который применяется при анализе сигналов и систем их обработки. Он позволяет ввести в анализ понятия огибающей и мгновенной частоты сигнала.

В современной радиотехнике представление колебаний в комплексной форме распространено на негорманические колебания. Если задан физический сигнал в виде действительной функции , то соответствующий ему комплексный сигнал представляется в форме:

 (13)

где  функция, сопряженная по Гильберту сигналу 

Особенностью определенного комплексного сигнала заключается в том, что его спектральная плотность:

 (14)

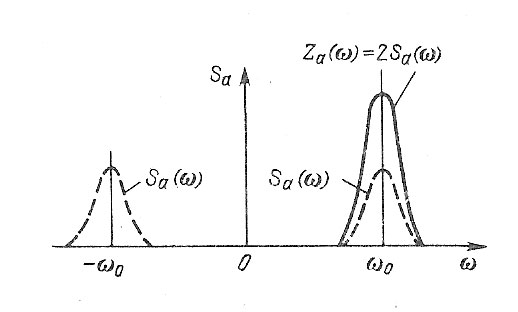
и содержит только положительные частоты, тогда



Значит, если узкополосному сигналу  соответствует спектральная плотность , модуль которой изображен на **Рис 3** штриховой линией, то сигналу  соответствует спектральная плотность , модуль которой изображен сплошной линией.

 - спектральная плотность исходного (физического ) сигнала 

Комплексный сигнал, определяемый выражениями (13 ) и (14) называется **аналитическим сигналом.**



**Рис 3.** Соотношения между спектрами физического и аналитических сигналов.

**5 Характеристики аналитического сигнала**

**Огибающая и мгновенная фаза сигналов.** Допустим, что имеем зарегистрированный радиоимпульсный сигнал x(t) с несущей частотой o, который содержит определенную информацию, заключенную в огибающей сигнала u(t) и его фазе (t):

x(t) = u(t) cos (ot+(t)). (.15)

Требуется выделить информационные составляющие сигнала

Запишем выражение (16.2.1) в другой форме:

x(t) = a(t)⋅cos(ot) + b(t)⋅sin(ot), (16)

где функции a(t) и b(t) называются низкочастотными квадратурными составляющими сигнала x(t):

a(t) = u(t) cos t, b(t) = u(t) sin t.

u(t) =, tg (t) = b(t)/a(t).

С использованием преобразования Гильберта из сигнала x(t) можно сформировать аналитически сопряженный сигнал (t). Математическую форму сигнала (t) получим из выражения (16) с учетом свойства модуляции преобразования Гильберта:

(t) = a(t)⋅sin(оt) – b(t)⋅cos(ot).

z(t) = x(t) + j⋅(t).

Квадрат модуля сигнала z(t):

|z(t)|2 = x2(t)+2(t) = a2(t)[cos2(t)+sin2(ot)] + b2(t)[cos2(t)+sin2(ot)] = u2(t).

Отсюда**, огибающая u(t) и мгновенная фаза (t)** сигнала x(t):

u(t) =. (17)

tot+(t) = arctg[(t)/x(t)]. (18)

Наглядно эти характеристики можно увидеть на Рис 4

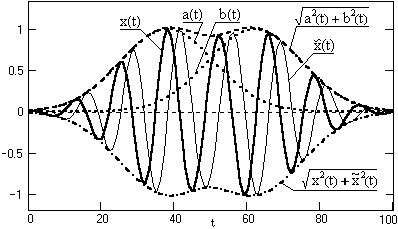


Рис 4

**Мгновенная частота**сигнала определяется по скорости изменения мгновенной фазы:

d(t)/dt == (19)

**6. Ценность модели аналитического сигнала**

Аналитический сигнал позволяет получить аналитическое продолжение функции в верхнюю (нижнюю) полуплоскость комплексной переменной z, с чем и связано название аналитического сигнала.

Это значит, что узкополосный сигнал можно представить в виде:

 и произведя соответсвующую обработку  выделить низкочастотный эквивалент.

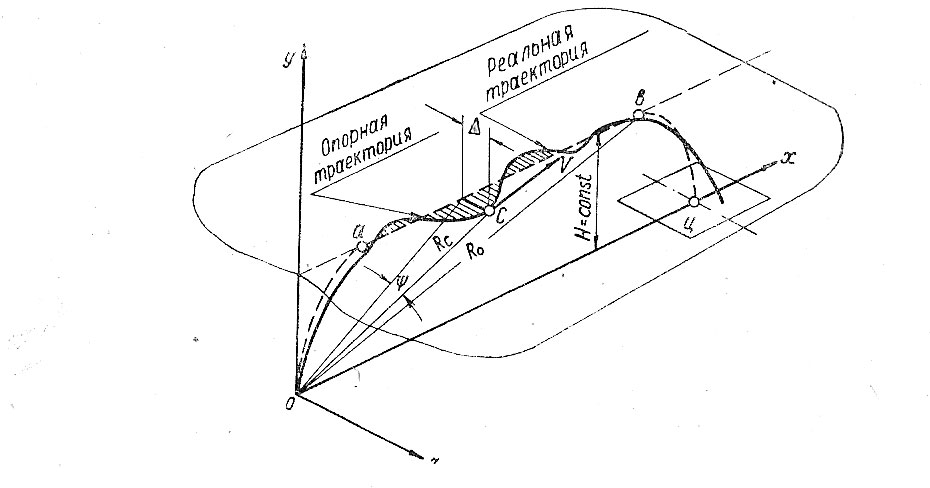
**Вопрос 2.**

**1. Задачи, решаемые системами радиоуправления**

**Системой радиоуправления** будем называть комплекс разных технических средств, содержащий радиотехнические устройства и используемый для решения задач управления. Особенность систем управления, использующих радиосредства, состоит в том, что их отдельные элементы или звенья находятся, как правило, на значительном удалении друг от друга, поэтому управление исполнительными механизмами в них ведется на расстоянии. Такое управление в настоящее время все более используется на транспорте, в энергетике, промышленности и особенно широко в оборонной технике.

Основной задачей, решаемой с помощью систем радиоуправления в оборонной технике, является управление полетом беспилотных летательных аппаратов. В настоящее время известен достаточно широкий перечень беспилотных аппаратов самого разного назначения — от обычного самолета, совершающего автоматическую посадку на аэродром при отсутствии видимости, до космических ракет и межпланетных автоматических станций, контроль движения и коррекции орбит которых осуществляются с помощью систем радиоуправления. Все задачи, с которыми приходится встречаться при радиоуправлении полетом, можно разделить на две основные группы.

**Первая задача** — это задача движения беспилотного аппарата по заданной, т. е. вычисленной и поэтому известной траектории. Такие траектории принято называть фиксированными или опорными. Система радиоуправления в этом случае должна контролировать действительную траекторию движения, сравнивать ее с заданной и в случае их несовпадения (что обычно и имеет место) вырабатывать и передавать на борт беспилотного аппарата корректирующие команды. **(Рис 5)**



**Рис 5** Схема наведения самолета-снаряда на цель по фиксированной траектории.

Радиоуправление, построенное по такому принципу, называют **корректирующим радиоуправлением**.

В качестве примеров можно привести радпоуправление полетом баллистической ракеты на активном участке траектории, выведение на заданную траекторию искусственного спутника Земли, коррекцию траектории межпланетной автоматической станции. При решении любой из этих задач опорные траектории известны. Действительно, при запуске баллистической ракеты известны координаты места старта и цели, а потому может быть заранее рассчитана траектория полета . При выведении на орбиту искусственного спутника Земли известно место старта и орбита, на которую он выводится, а в случае коррекции траектории межпланетной станции — взаимное положение планет и траектория ее движения.

**Вторая задача** — это задача сближения управляемого снаряда с движущейся и маневрирующей целью. Задать для снаряда траекторию в этом случае нельзя, так как цель движется и при маневрировании меняет свою траекторию достаточно произвольно. В такой ситуации может быть выбран только характер или способ сближения управляемого снаряда с целью. Конкретная форма траектории при выбранном методе сближения формируется в самом процессе полета и зависит от движения цели и движения пункта управления, если он подвижен. Управление снарядом при этом возможно с помощью команд, передаваемых по радиоканалу с земли, самолета, корабля или с помощью системы самонаведения.

Поскольку управление снарядом осуществляется на большом расстоянии, необходимо следить на таких расстояниях за движениями самолета и снаряда, а также корректировать полет перехватчика, осуществляя это с помощью радиосредств. Радиоуправление, в основу которого положено слежение за движением цели и снаряда и последующая корректировка полета называют **следящим радиоуправлением**.

Очень широко комплексы радиоуправления используются в работах по исследованию космического пространства. Радиоканалы используются в системах передачи из космоса телеметрической информации, телевизионных изображений и для решения многих других задач.

**2. Способы радиоуправления полетом**

Известны следующие основные способы управления полетом беспилотных объектов.

1.Автономное управление.

2. Управление по командам, формируемым с помощью специалыиого пункта наведения.

З. Самонаведение.

4. Комбинированное управление.

Управление полетом принято называть **автономным**, когда оно полностью осуществляется с помощью аппаратуры, расположенной на борту снаряда. Никаких управляющих сигналов с места старта или сигналов, связанных с определенными признаками цели, на борт снаряда при автономном управлении не поступает. Программа полета устанавливается заранее и полностью контролируется только аппаратурой на борту. Принципы работы этой аппаратуры основаны на использовании свойств гироскопов или на применении элементов, чувствительных к изучению звезд, гравитационному или магнитному полям Земли.

Используется автономное управление при неподвижных целях, координаты которых известны. Траектория полета при этом может быть заранее рассчитана и заложена в программу движения.

**Управление полетом по командам, формируемым с помощью специального пункта наведения**, осуществляется только с использованием радиотехнических средств. Системы управления при этом могут быть построены по методам радиотеленаведения и радиотелеуправления.

При радиотеленаведении передающими станциями пункта в зоне полета беспилотного объекта создается электромагнитное поле или радиозона определенной структуры. В каждой точке пространства параметры этого поля содержат информацию о направлении на цель. На управляемом снаряде ставится радиоприемное устройство, с помощью которого эта информация может быть выделена и использована далее для управления полетом. Пункт наведения никаких команд при этом не отрабатывает, он только формирует радиозону. Команды управления синтезируются непосредственно на борту снаряда.

Основной особенностью *радиотелеуправления* как способа наведения является синтезирование команд управления полетом на пункте управления и их последующая передача по радиолинии на борт беспилотного объекта. Для формирования команд управления при радиотелеуправлении ведется непрерывный контроль текущих координат цели и снаряда или контроль других показателей их взаимного положения. На основании оценки положения снаряда относительно цели формируются необходимые команды управления. Эта оценка и формирование команд управления проводятся с помощью специальных электронных вычислительных устройств.

**Самонаведение** беспилотного аппарата на цель всегда осуществляется с помощью аппаратуры, установленной на его борту. Пункт управления в процессе самонаведения участия не принимает или играет вспомогательную роль. Основным элементом бортовой аппаратуры при самонаведении является приемник сигналов, излучаемых целью. Бортовая аппаратура должна определять пеленг на цель, т. е. направление, с которого поступает сигнал и по найденному пеленгу формировать команды управления. Сигналы, идущие от цели, могут быть акустическими, тепловыми и радиотехническими.

Для управления полетом беспилотных объектов часто используют **комбинированные системы**. Например, в системах радиоуправления для формирования внутреннего контура всегда используются элементы автономного управления. На разных участках траектории обычно используются разные способы управления полетом, для того, чтобы наиболее полно реализовать их преимущества. Возможна комбинация автономного управления с самонаведением по рассеянному отражению радиоволн от поверхности Земли. Такие системы иногда называют системами автономного радиоуправления и используют для наведения беспилотных объектов по фиксированным траекториям.

**3. Показатели качества системы управления**

Основными качествами, которыми должны обладать системы радиоуправления, определяются назначением систем.

Из обобщенных требований можно выделить эксплуатационные, тактико-технические и конструкционные. Наиболее важным эксплуатационным требованием следует считать **безотказность** или **надежность работы** всех элементов систем радиоуправления в заданных метеорологических и климатических условиях. Важность этого условия связана с тем, что в настоящее время развитие техники радиоуправления идет в основном по пути увеличения точности и внедрения в системы управления быстродействующей электронно-вычислительной техники, которая берет на себя все больше функций оператора. Такие системы управления получаются сложными, содержащими много различных элементов. Поскольку отказ хотя бы одного элемента может нарушить работу всей системы, то совершенно необходимо, чтобы отдельные элементы и вся система в целом имели высокую надежность.

Другим важным эксплуатационным качеством является **быстрота и безопасность предстартовых операций и проверок отдельных элементов**, удобство настройки аппаратуры, автоматизация технического обслуживания.

Основными **тактико-техническими** качеством являются **необходимая дальность и высотность действия при заданной точности**. Критерием точности может быть рассмотренная вероятность *Р* выведения снаряда системой радиоуправления в заданную область плоскости или пространства. Такой критерий позволяет иметь объективную числовую характеристику качества системы радиоуправления, однако эта характеристика не является всесторонней. Например, систему радиоуправления можно сделать очень точной, но если при этом не учесть требований простоты и надежности, система окажется сложной и поэтому неработоспособной. Кроме того, усложнение и увеличение веса аппаратуры управления на борту снаряда приводит к уменьшению веса боевого заряда. В результате такая точная система может оказаться менее эффективной, чем система менее точная, но более простая.

**Показателем эффективности** систем радиоуправления установлен к соответствии с назначением управляемого снаряда. В качестве такого критерия выбрана **вероятность поражения цели**. Этот критерий учитывает основные особенности всего комплекса управления и поддается вычислению по формуле:



В правой части формулы записано произведение следующих сомножителей:

*Р1* — вероятность обнаружения цели и ее захвата на автосопровождение радиолокационной станцией слежения. Эта вероятность характеризует совершенство комплекса радиолокационных средств в системе управления. В случае фиксированной траектории снаряда Р==1; *Р2* — вероятность безотказной работы системы радиоуправления в течение определенного интервала времени. Это ее надежность. (*Р1\*Р2=О,7—О,8 )*

*Р3* — вероятность доставки технически исправного снаряда в заданный район цели с ошибкой, не превышающей допустимую.;

*Р4* — вероятность того, что управляемый снаряд в полете не будет выведен из строя действиями противника. Она определяется эффективностью оказываемого противодействия;

*Р5* — вероятность уничтожения цели снарядом, выведенным с допустимым промахом в заданный район. Она зависит *от* боевого заряда, свойств взрывателя и уязвимости цели.

Вероятность поражения цели является наиболее полной тактико-технической характеристикой, позволяющей давать количественную оценку системам радиоуправления и сравнивать их между собой.

К показателям качества системы относят так же **конструкционные требования**. Вся бортовая **аппаратура должна иметь минимальные габариты и вес**, выдерживать значение перегрузок, быть вибростойкой. Необходимо, чтобы аппаратура работала в широком диапазоне температур, влажности и давления.