

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Баламирзоев Назим Лиоджинович
Должность: Ректор
Дата подписания: 11.09.2025 11:42:08
Уникальный программный ключ:
5cf0d6f89e80f49a334f6a40b7d8e2301609916

Министерство транспорта Российской Федерации
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования**

*«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»*

Кафедра радиотехники и телекоммуникаций



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Цифровая связь»
для студентов направления
подготовки магистров 11.04.01 «Радиотехника»,
магистерская программа «Системы и устройства передачи, приема и
обработки сигналов»*

Махачкала - 2020

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Цифровая связь» для студентов направления подготовки магистров 210400.68 «Радиотехника», магистерская программа «Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов». – Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2014. – 40 с.

Рассматриваются основные темы раздела " Цифровая связь ". Для анализа физических процессов, происходящих в селективных цепях радиоприемных устройств применяется математическое и компьютерного моделирование. Осуществляется первичная обработка сигнала. Для знакомства с вейвлет – анализом моделируются наиболее распространенные вейвлеты.

Приводятся необходимые теоретические сведения по тематике, лабораторные работы, примеры выполнения некоторых из них с подробными комментариями в приложении, а также таблицы индивидуальных заданий по каждой лабораторной работе.

Реализация заданий на компьютере позволит приобрести практические навыки моделирования в пакете MathCAD. Полученные навыки могут быть использованы в курсовом и дипломном проектировании.

Предполагается знакомство пользователя с высшей математикой, физикой, информатикой, радиотехническими цепями и сигналами, формированием и передачей сигналов.

Составители: к.т.н., доцент
к.ф.-м.н., доцент
к.т.н., ст. преп.

Гаджиев Х.М.
Гаджиева С.М.
Челушкина Т.А.

Рецензенты:
зав. кафедрой ИВТ филиала МГТУ МИРЭА
в г. Махачкала, д.т.н., профессор

Гусейнов Р.В.

проф. кафедры БиМАС
ФГБОУ ВПО «ДГТУ», д.т.н., профессор

Магомедов Д. А.

(Рег. № _____)

Печатается согласно постановлению Ученого совета Дагестанского государственного технического университета от «___» _____ 2020.

Введение

Радиосвязь – электрическая передача сообщений без проводов. Изобретателем радио в нашей стране считается А.С. Попов, который 7 мая 1895 г. осуществил впервые передачу сигналов по радио. За это время эта отрасль связи проделала гигантский путь в своем развитии. Сейчас по радио ежедневно передаются колоссальные потоки телеграмм и цифровой информации, фототелеграмм и полос печатного газетного текста, при помощи радио осуществляется звуковое и ТВ вещание, по радио поддерживается связь на огромные расстояния.

Радиосвязь и вещание – не изолированная отрасль связи, а необходимая часть создаваемой цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО) ISDN.

ЦСИО объединяет сети городской, сельской, внутриобластной, магистральной связи, компьютерные сети, сети передачи данных и т.д. и состоит из воздушных, кабельных, радиорелейных и космических линий связи. Она позволит разнообразную информацию, принимаемую в одном пункте, например по радио, передавать дальше по каналам проводной связи. Переключения каналов, выбор направлений передачи сигналов, управление оборудованием будет полностью автоматизировано в этой системе.

Особенно велика роль радио для связи с кораблями, самолетами, автомобилями, экспедициями, полярными станциями, т.к. связь с этими объектами возможна только по радио. Радиосвязь является также основным средством связи между населенными пунктами, разделенными большими малонаселенными и труднопроходимыми пространствами.

Принципы организации радиосвязи

Простейшая схема радиосвязи показана на рис. 1. Здесь 1 – источник информации (цифровые данные, изображение, звук и т.д.); 2 – преобразователь сообщения. Он служит для преобразования поступающей информации в электрический сигнал.

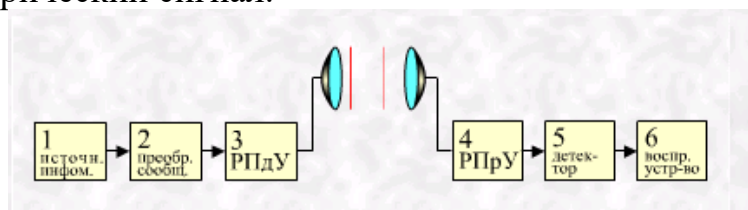


Рис. 1

Устройство 3 – собственно радиопередающее устройство. Необходимость его связана с тем, что информация, преобразованная в электрический сигнал, имеет относительно низкую частоту, которая, как известно, плохо излучается. Модулированные высокочастотные (ВЧ) колебания, называемые радиосигналом, подаются в передающую антенну и возбуждают в окружающем пространстве электромагнитные волны.

Небольшая часть энергии электромагнитных волн от передатчика достигает приемной антенны и создает в ней слабый модулированный ток высокой частоты. В приемнике 4 ВЧ модулированные колебания усиливаются и

затем преобразуются в устройстве 5 обратно в сигнал такого же вида, как полученный в пункте передачи от преобразователя. Такое преобразование называется детектированием, а устройство – детектором.

Далее сигнал поступает в воспроизводящее устройство 6 – буквопечатающий аппарат, обычный телефон, телевизионную приемную трубку, дисплей компьютера или мобильного телефона и т.п., после чего принятая информация поступает к получателю.

Комплекс из передатчика, передающей антенны, среды распространения волн, приемной антенны и приемника образует радиолинию. Радиолиния, как видно из рис. 1, допускает одностороннюю передачу информации из пункта размещения передающей станции в пункт, где находится приемник. Обратная передача в этом случае не предусматривается.

Односторонняя передача используется чаще не в радиосвязи, а в звуковом и ТВ радиовещании, в службах передачи информации для агентств печати, метеорологической информации, сигналов точного времени, точной частоты и др.

Чтобы улучшить эффективность использования оборудования и увеличить пропускную способность радиолинии, применяют аппаратуру уплотнения (рис. 2). Передающая часть аппаратуры образует из сигналов различных источников информации $1a-1n$, преобразованных преобразователями $2a-2n$, единый групповой сигнал. Приемная часть этой аппаратуры разделяет сигналы, производит их преобразование ($7a-7n$), после чего они поступают к потребителям $8a-8n$.

Совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сообщения от одного источника информации к получателю, называется каналом радиосвязи.

Система радиосвязи с уплотнением радиолинии называется многоканальной радиосвязью.

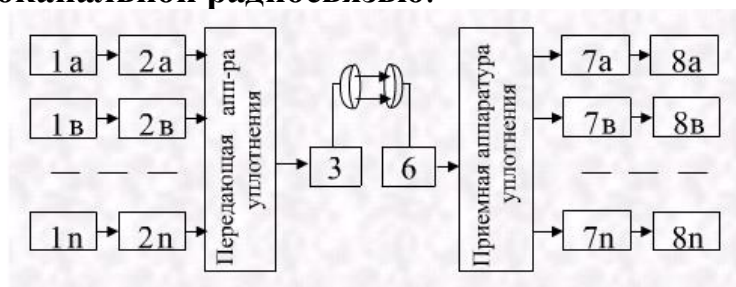


Рис. 2

Для обмена информацией между двумя пунктами организуется двусторонняя радиосвязь, которая обеспечивается при помощи двух комплектов оборудования односторонней связи, действующих навстречу друг другу. В каждом конечном пункте двусторонней линии радиосвязи размещаются и приемное и передающее оборудования. Источник и получатель информации обычно совмещены, а также передатчик и приемник в некоторых случаях объединяются в единой приемо-передающей радиостанции. Тогда в

каждом пункте обычно вместо двух антенн имеется одна общая приемо-передающая антенна.

Двусторонняя радиосвязь может организовываться по двум вариантам:

1. Оба передатчика работают на одной и той же частоте, т.е. и приемники настроены на одну и ту же частоту. В этом случае радиолиния в оба направления одновременно работать не может. Работа производится поочередно в одном из направлений. Такая связь называется **симплексной**
2. Передатчики работают на разных частотах, соответственно и приемники настроены на разные частоты. В этом случае радиолиния в оба направления может работать одновременно. Такая связь называется **дуплексной**.

Линия радиосвязи может состоять из нескольких или многих участков, в пределах которых передача радиосигналов обеспечивается комплектами приемо-передающего оборудования. Сигналы из одного пункта принимаются в другом, усиливаются и передаются далее в третий пункт, там вновь усиливаются и передаются в четвертый пункт и т.д. Такое построение радиолинии называется **радиорелейной линией (РРЛ) связи** (рис. 3).

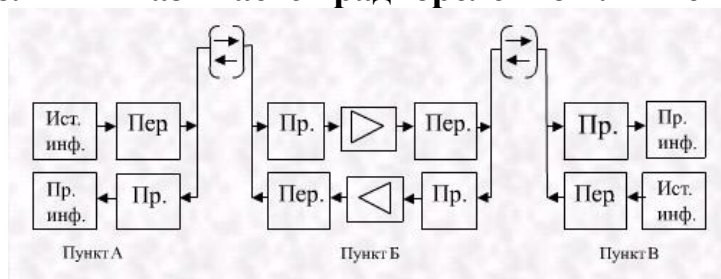


Рис. 3

Классификация радиочастот

Все системы радиосвязи обычно используют радиосигналы в виде гармонических (синусоидальных) колебаний ВЧ, модулированных передаваемым отдельным или групповым сигналом.

Каждой линии радиосвязи выделяется определенная полоса частот. Средняя частота выделенной полосы считается номинальной частотой передающей радиостанции.

В соответствии с международным регламентом радиосвязи радиочастоты делятся на 9 диапазонов, обозначаемые номерами от 4 до 12. Диапазон с номером N ограничен снизу частотой $0,3 \cdot 10^N$ Гц и сверху частотой $3 \cdot 10^N$ Гц. Диапазонам присвоены следующие названия:

- № 4 – $f_4 = 0,3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^4 = 3 \div 30$ кГц – сверхдлинные волны;
- № 5 – $f_5 = 0,3 \cdot 10^5 = 30 \div 300$ кГц – длинные волны;
- № 6 – $f_6 = 0,3 \cdot 10^6 = 300 \div 3000$ кГц – средние волны;
- № 7 – $f_7 = 0,3 \cdot 10^7 = 3 \div 30$ МГц – короткие волны;
- № 8 – $f_8 = 0,3 \cdot 10^8 = 30 \div 3000$ МГц – метровые волны;
- № 9 – $f_9 = 0,3 \cdot 10^9 = 300 \div 3000$ МГц – дециметровые волны;
- № 10 – $f_{10} = 0,3 \cdot 10^{10} = 3 \div 30$ ГГц – сантиметровые волны;
- № 11 – $f_{11} = 0,3 \cdot 10^{11} = 30 \div 300$ ГГц – миллиметровые волны;
- № 12 – $f_{12} = 0,3 \cdot 10^{12} = 300 \div 3000$ ГГц – децимиллиметровые волны.

Отсюда видно, что с увеличением номера диапазона ширина диапазона частот увеличивается.

Например: № 4 $\Delta f_4=27$ кГц, а №12 $\Delta f_{12}=2700$ кГц. В пределах диапазона условия распространения радиоволн приблизительно одинаковы. Рабочую частоту линии радиосвязи или так называемую несущую частоту, которая используется для переноса сообщений из места передачи на место приема, выбирают с учетом следующих требований:

1. Отсутствие работающих на этой частоте радиостанций, излучения которых могли бы мешать радиоприему в нужных пунктах планируемой линии;
2. Отсутствие на этой частоте систем радиосвязи и вещания, работе которых может помешать включение нового передатчика;
3. Выбираемая частота должна лежать в диапазоне, который по существующим планам распределения радиочастот отведен для данного вида радиосвязи;
4. Должна иметься возможность занятия достаточно широкой полосы частот, соответствующей ширине спектра передаваемых радиосигналов.

Анализируя приведенные требования можно показать, что построение многоканальной радиолинии целесообразно не на всех 9 диапазонах.

Например, в диапазоне № 4 нельзя организовать высококачественную передачу даже одного канала вещания ($\Delta F_{\text{вещ}}=15$ кГц) и TV ($\Delta F_{\text{TV}}=6$ МГц). Поэтому для этих целей используют диапазон волн с более высоким номером. Для TV вещания № 8, для радиовещания № 5 и выше и т.д., а для организации многоканальной радиолинии обычно используют диапазон **УКВ** (8 - ой диапазон и выше). Поскольку **РРЛ** является, как правило, многоканальной радиолинией, то и несущие частоты выбирают в диапазоне УКВ.

Методы приема сигналов

Оптимальный прием аналоговых сигналов

Вплоть до 70-х гг. XX века аналоговые системы передачи сообщений были доминирующим видом систем, используемым для передачи сообщений по каналам связи. В системах, работающих в диапазонах низких, средних или высоких частот, использовалась, как правило, амплитудная модуляция (АМ) с передачей двух боковых полос или одной боковой полосы (системы ОБП). Данный вид модуляции является линейным, так как передаваемый сигнал линейно зависит от передаваемого сообщения. Он широко применяется в технике связи, в частности, в телевизионном вещании. В более высокочастотных диапазонах в системах звукового вещания, в подвижной связи, в радиорелейных и спутниковых системах передачи, многоканальной телефонии наиболее часто использовалась частотная модуляция (ЧМ). Этот вид модуляции является нелинейным. Он применялся не только в системах связи, но также во многих других системах: звукозаписи сигналов на магнитный носитель, системах передачи на поднесущей сигналов цветности в телевидении и т. п.

Уже в 30-х гг. XX века инженеры, основываясь на интуиции и здравом смысле, изобрели методы приема сигналов с АМ, ОБП и ЧМ. В случае АМ повсеместное распространение получили приемники, в которых в качестве демодулятора использовался линейный детектор, для приема сигналов с ОБП применялся синхронный детектор, на который в качестве опорного сигнала подавалось гармоническое колебание, сформированное из остатка несущей, содержащейся в составе сигнала с ОБП. Наиболее распространенным демодулятором ЧМ сигналов был частотный дискриминатор – пара расстроенных контуров, в которых осуществлялось преобразование принимаемых сигналов таким образом, чтобы на их выходе амплитуда сигнала изменялась бы пропорционально его мгновенной частоте. Тогда на выходе амплитудного детектора, установленного на выходе расстроенных контуров, можно было выделить полезное сообщение. В эти же годы были изобретены фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) и следящие демодуляторы ЧМ сигнала.

Пионерские исследования, выполненные академиком В. А. Котельниковым, показали, что при высоком отношении "сигнал/шум" на входе приемника существующие методы приема сигналов с АМ и ЧМ обеспечивают потенциальную помехоустойчивость. Ученый также описал механизм возникновения пороговых явлений при приеме сигналов с нелинейными видами модуляции и наметил методы оценки порогового уровня сигнала.

Следует отметить, что одна из целей, которые преследуют инженеры при конструировании систем связи, заключается в том, чтобы эта система функционировала с заданным качеством приема сообщений при минимальном уровне сигнала, поступающем на вход приемника. Поэтому в ряде случаев важно, чтобы система была построена так, чтобы для ее нормальной работы требовался минимальный энергетический потенциал радиолинии. При низких уровнях принимаемого сигнала начинают проявляться нелинейные (пороговые) эффекты в демодуляторах. Вот почему определение структуры оптимальных демодуляторов и выбор их параметров, при которых может быть достигнута высокая помехоустойчивость приема, требует учета очень тонких физических явлений. В таких случаях весьма сложно основываться на одной интуиции и становится необходимым применение строгой теории. Такая теория была создана и весьма активно развивалась в 50-70-е гг. XX столетия. Она дала инженерам научно обоснованный инструмент синтеза эффективных систем связи. В настоящее время разработаны два ее варианта – гауссовская (ГТОП) и марковская (МТОП) – теории оптимального приема сигналов. Первой была создана ГТОП, а затем МТОП.

Методы обработки сигналов

По типу обрабатываемого сигнала обработку сигналов можно разделить на *аналоговую и цифровую*, т. е. производимую над аналоговыми сигналами или над сигналами цифровыми.

Непрерывные (аналоговые) сигналы описываются непрерывными функциями времени. Мгновенные значения таких сигналов изменяются во времени плавно, без резких скачков (разрывов). Пример временной диаграммы непрерывного сигнала приведен на рис. 5(а). Сигналы, временные диаграммы которых изображены на рис. 4, не являются непрерывными, поскольку их мгновенные значения в некоторые моменты времени изменяются скачками. Многие реальные сигналы являются непрерывными. К таковым можно отнести, например, электрические сигналы при передаче речи, музыки, многих изображений.

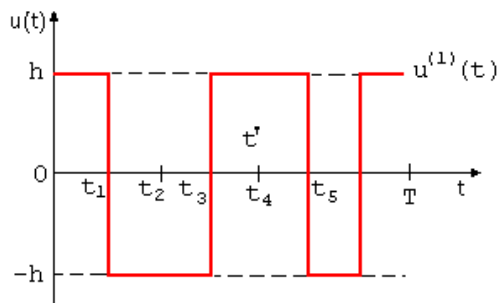
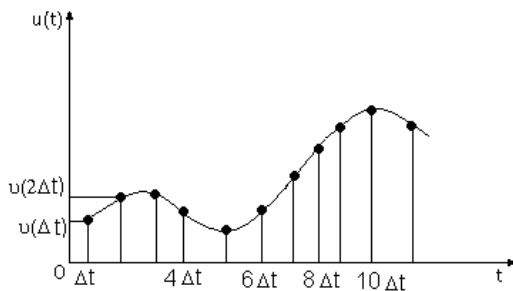
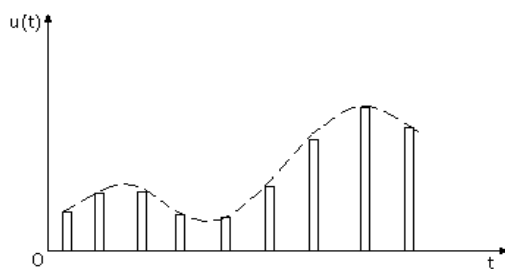


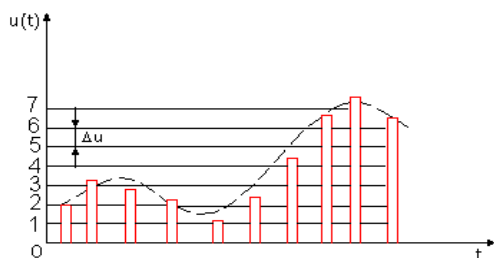
Рис. 4. График реализации телеграфного сигнала.



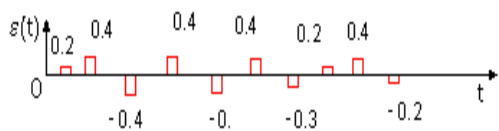
а)



б)



в)



г)

Рис. 5 . Дискретизация, квантование непрерывного сигнала: а – непрерывный сигнал; б – дискретный по времени (импульсный) сигнал; в – дискретный по времени и по значениям (цифровой) сигнал; г – ошибка квантования

Сигналы с дискретным временем

Сигналы с дискретным временем можно получить из непрерывных, выполняя над последними специальное преобразование, называемое дискретизацией по времени. Смысл этих преобразований проиллюстрируем с помощью временных диаграмм, приведенных на рис. 5. Будем считать, что можно измерить мгновенные значения сигнала $u(t)$ в моменты времени: $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t \dots$. Δt называют интервалом дискретизации по времени. Измеряемые значения $u(\Delta t), u(2\Delta t), u(3\Delta t)$ отмечены на рис. 5 (а) точками. По этим значениям можно сформировать последовательность коротких прямоугольных импульсов, длительность которых одинакова и меньше интервала дискретизации Δt , а амплитуды равны измеренным значениям сигнала $u(t)$. Последовательность таких прямоугольных импульсов изображена на рис. 5 (б) и часто называется импульсным сигналом или сигналом с дискретным временем. Такой сигнал будет обозначен символом $u(\Delta t)$. Отметим, что шаг дискретизации по времени здесь постоянен и равен Δt , а амплитуда каждого импульса равна мгновенному значению сигнала $u(t)$ в соответствующий момент времени.

Поскольку непрерывный сигнал $u(t)$ в выделенные моменты времени может принимать любые значения, то и амплитуды импульсов импульсного сигнала, полученного из непрерывного путем дискретизации по времени, также могут принимать любые значения: На рис. 5 (б) значения амплитуд импульсов указаны с точностью лишь до одного десятичного знака после запятой. Для точного указания значения амплитуд импульсов может потребоваться неограниченное число десятичных знаков после запятой, т.е. значения амплитуд импульсов заполняют непрерывно некоторый интервал. Поэтому амплитуды импульсов сигнала $u(\Delta t)$ иногда называют *непрерывными величинами*.

Цифровые сигналы

При передаче импульсных сигналов применяют специальное преобразование, называемое квантованием.

При передаче каждый импульс может иметь амплитуду лишь с разрешенным значением. Число разрешенных значений амплитуд импульсов конечно и задано. Например, на рис. 5 (в) разрешенные значения амплитуд

пронумерованы цифрами 1, 2, 3, ...; величина Δu равна разности между любыми двумя соседними разрешенными значениями амплитуд. Если истинное значение амплитуды импульса сигнала $u\Delta(t)$, подлежащее передаче, попадает между разрешенными значениями, то амплитуду передаваемого импульса принимают равной разрешенному значению, являющемуся ближайшим к истинному.

Итак, такое преобразование называют квантованием, совокупность разрешенных значений амплитуд передаваемых импульсов называют шкалой квантования, а интервал Δu между соседними разрешенными значениями – шагом квантования. Например, на рис. 5 (в) разрешенные значения амплитуд импульсов приняты равными целым числам 0; 1; 2; 3 и образуют равномерную шкалу квантования, которая может быть продолжена и на область отрицательных значений сигнала $u(t)$; при этом шаг квантования $\Delta u=1$.

Последовательность импульсов, полученная в результате квантования импульсов сигнала $u\Delta(t)$, также является импульсным сигналом, для которого введем обозначения $u\Delta(t)$. Особенность этого сигнала состоит в том, что амплитуды импульсов теперь имеют только разрешенные значения и могут быть представлены десятичными цифрами с конечным числом разрядов. Такие сигналы называют дискретными или цифровыми. Квантование приводит к ошибке квантования $e(t) = u\Delta(t) - u(t)$. На рис. 5 (г) приведен пример временной диаграммы ошибки $e(t)$. Передача цифрового сигнала $u\Delta(t)$ вместо сигнала $u(t)$ фактически эквивалентна передаче импульсного сигнала $u\Delta(t)$ с предварительно наложенным на него сигналом ошибки $e(t)$, который в этом случае может рассматриваться как помеха. Поэтому $e(t)$ часто называют помехой квантования или шумом квантования.

Цифровая обработка сигналов

В последнее время все более широкое распространение во всех сферах деятельности получила цифровая обработка сигналов, что объясняется рядом ее преимуществ.

Цифровая обработка сигнала в приёмных системах может быть использована с того места радиотракта, где частота сигнала понижается настолько, чтобы можно было без потерь дискретизировать сигнал с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и обработать затем отсчёты сигнала цифровым сигнальным процессором или специализированным процессором.

При этом, наиболее выгодной с точки зрения цифровой обработки сигнала является обработка сигнала на нулевой ПЧ (на видеочастоте). При этом частота дискретизации, и, соответственно, скорость потока данных, поступающих на сигнальный процессор, являются минимально возможными, и сигнальный процессор больше времени может посвятить собственно обработке сигнала, чем операциям ввода отсчётов сигнала.

Так как снесение спектра осуществляется в ноль, то для сохранения информации сигнал должен быть представлен двумя своими квадратурами – косинусной и синусной. Схема обработки при этом должна быть квадратурной.

Преимущества цифровой обработки радиосигнала

К основным преимуществам цифровой обработки перед аналоговой обработкой относится:

1. стабильность параметров обработки.
Если стабильность частоты настройки и в аналоговых приемниках с синтезаторами частоты достаточно высока, то характеристики смесителей, фильтров и демодуляторов изменяются от времени и температуры;
2. возможность автоматической адаптации к условиям приема и характеру сигнала, состоящей в оптимизации структуры, характеристик и параметров приемника и всех устройств, входящих в приемный комплекс;
3. способность работать как с традиционными, так и с новыми видами модуляции, с кодированными сигналами и сигналами с временным и частотным уплотнением каналов при приемлемых масса/габариты/стоимость показателей (при чисто аналоговой обработке эти показатели катастрофически возрастают при усложнении модуляции);
4. сокращение времени настройки, возможность работы с прыгающей частотой за счет новых подходов к построению гетеродина (синтезатора частоты), получения за счет цифровой обработки сигнала ПЧ с широкой полосой панорамы спектра диапазона принимаемых частот и цифрового анализа этого спектра;
5. многоканальность с идентичными характеристиками каналов. Реализация принципа: один приёмник - много каналов приёма,
6. возможность мониторинга спектра принимаемых частот. Эта функция реализовывалась с помощью дорогостоящих панорамных приставок. При цифровой обработке радиосигнала функция мониторинга спектра реализуется сигнальными процессорами с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) различной длины и статистической обработки спектра;
7. новые возможности при встраивании приемника в вычислительный обрабатывающий комплекс. Если ранее аналоговые приемники могли лишь управляться от компьютера (перестройка частоты, управление усилением и фильтрами, выбор демодулятора), то теперь в компьютер вводится цифровой поток данных из приемника, предназначенный для дальнейшей обработки и/или запоминания. Сам же приемник может быть выполнен в виде модуля, встраиваемого в крейт вычислительного комплекса или ПЭВМ;
8. снижение массы, габаритов и схмотехническое упрощение, и, как следствие, существенное повышение надежности;
9. снижение цены по сравнению с аналоговым приемником из-за большей технологичности и небольшого количества и невысокой цены компонентов при массовом производстве.

Структура цифрового приемника

На рис. 6 изображена структурная схема одного канала современного приёмного многоканального комплекса, в котором использованы современные технические решения в области цифровой обработки радиосигнала на ПЧ.

АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровой поток отсчётов и дальнейшая обработка выполняется цифровым образом. Основные элементы цифровой части приёмника сосредоточены в модуле цифрового приёмника. Этот модуль производит канальную фильтрацию и демодуляцию сигнала. Модуль может обрабатывать один или несколько каналов приёма.

Основные компоненты модуля - высокочастотный АЦП, цифровой квадратурный понижающий преобразователь DDC (их может быть несколько) и сигнальный процессор (процессоры).

Кроме перечисленных функций, модуль цифрового приёмника может производить мониторинг спектра входного сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ).

С выхода модуля информационный поток демодулированных данных от одного или нескольких каналов приёма поступает в вычислительную среду для дальнейшей обработки. В эту вычислительную среду поступают данные и от других аналогичных приёмных модулей, которые подключены к выходу ПЧ аналоговых приёмных трактов других диапазонов. В модуле цифрового

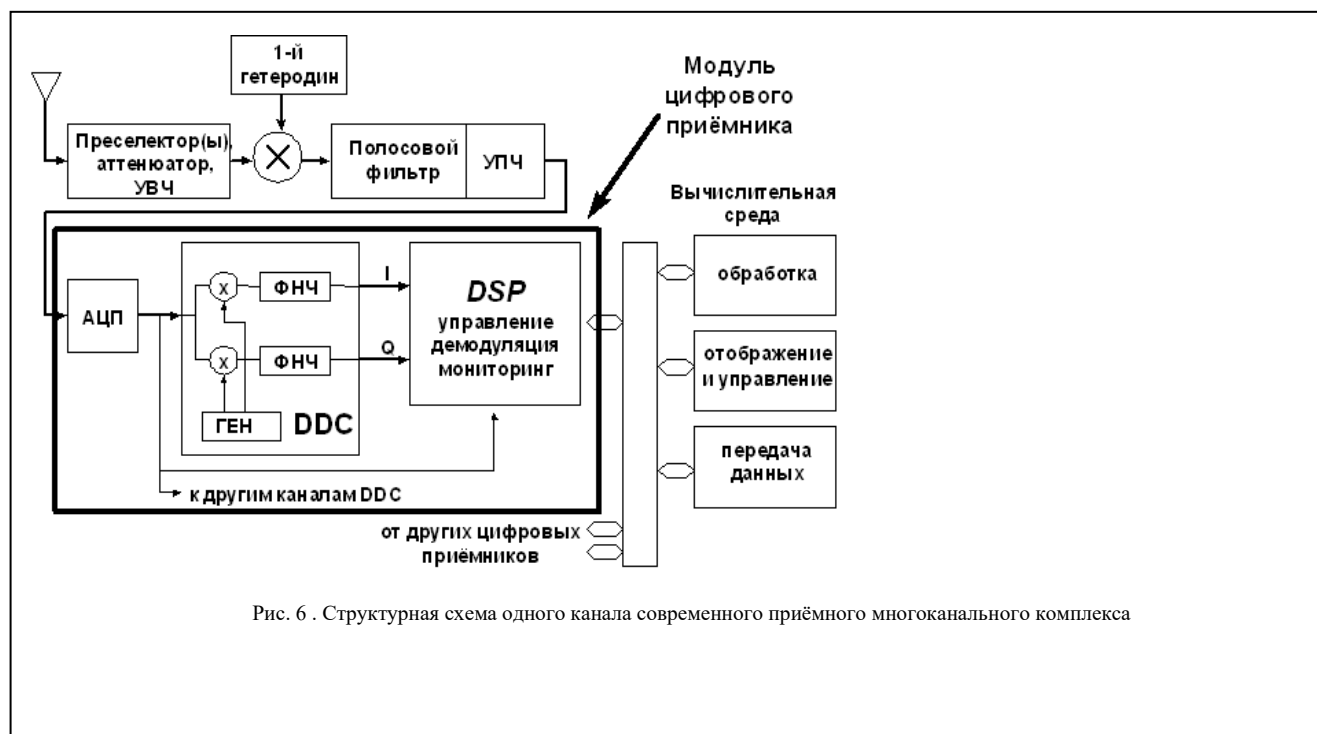


Рис. 6 . Структурная схема одного канала современного приёмного многоканального комплекса

приёмника отсчёты с выхода АЦП обрабатываются специализированным сигнальным процессором DDC (Digital Down Converter).

Функции этого процессора - преобразование информативного спектра частот в область низких (нулевых) частот, квадратурная фильтрация и децимация отсчётов сигнала.

Децимация (в k раз) – сокращение размера сигнала путем удаления последовательностей из $k-1$ избыточных отсчетов (т.е. остается лишь каждый k -й отсчет).

Децимация сигнала производится, как правило, после его преобразования, сужающего ширину спектра сигнала в k раз. Это и приводит, согласно теореме Найквиста-Колмогорова, к сокращению числа отсчетов, необходимых для полного восстановления сигнала, в k раз.

По реализуемым функциям - это цифровой приёмник прямого преобразования. DDC имеет два перемножителя, генератор отсчетов SIN и COS, идентичные каналы НЧ децимирующих фильтров. Частота настройки внутреннего генератора может изменяться в диапазоне от 0 до 25 МГц (до половины тактовой частоты DDC). Частота среза фильтров изменяется от сотен Гц до сотен кГц. Процессор производит децимацию отсчётов сигнала для того, чтобы скорость потока данных с выхода DDC была сообразна ширине спектра выходного сигнала.



Рис. 7. Преобразование спектра в DDC

На рис. 7 показано преобразование спектра сигнала с выхода АЦП, производимое DDC.

Следует отметить, что на выходе DDC отношение Сигнал/Шум выше, чем на входе, из-за эффекта процессорного усиления. Возрастание отношения Сигнал/Шум весьма значительное.

Сейчас цифровая обработка сигнала (ЦОС) аппаратно организована на процессоре цифровой обработки, в состав которого может входить и АЦП с ЦАП. Для разработки программ ЦОС существует специальное программное обеспечение.

Целевая система, построенная на процессорах ЦОС, представляет собой сложный комплекс, состоящий из множества компонентов, связанных различными интерфейсами. Для моделирования и выполнения программ ЦОС существуют интегрированные среды.

Интегрированные среды объединяют в себя мощные средства для инженерных и научных расчетов, и визуализации полученных данных.

Все пакеты имеют средства для обработки сигналов. Они имеют открытую архитектуру и позволяют организовать взаимодействие с аппаратурой ЦОС, подключать стандартные DLL. Управляющие библиотеки модулей ЦОС и беспроцессорных модулей могут быть подключены к указанным пакетам с использованием их стандартных средств для работы с DLL.

Виды обработки сигналов

По задачам, решаемым в результате обработки сигнала, она подразделяется на:

1. первичную,
2. вторичную,
3. третичную.

Как и любая классификация, такое разделение весьма условно и зависит от специфики решаемой задачи, области применения и материальных средств, которые могут быть в нее вложены.

К первичной обработке относится измерение отдельных параметров сигнала.

Задачами вторичной обработки могут быть расчет спектров, распознавание образов, статистический анализ результатов.

Формирование баз данных и баз знаний, разработку рекомендаций для специалистов можно отнести к третичной обработке.

Вторичная обработка производится преимущественно в отложенном режиме и осуществляется устройствами вторичной обработки (УВО) в роли которых обычно выступают персональные ЭВМ. Однако однозначно провести границу между первичной и вторичной обработкой невозможно.

Например, в системах дистанционного кардиомониторинга, где также осуществляется прием и обработка сигнала, первичная обработка включает в себя следующие этапы:

1. усиление электрокардосигнала (ЭКС);
2. оцифровка;
3. фильтрация от помех;
4. компрессия;
5. передача ЭКС по каналам связи.

Другой пример - спутниковые радионавигационные системы (СРНС).

Математическое обеспечение спутниковой радионавигации распадается на первичную и вторичную обработки информации, определяемые следующим образом.

Первичная обработка решает задачи поиска и обнаружения сигналов, слежения за ними, измерения радионавигационных точек (РНП), приема и декодирования служебной информации.

Получаемые на выходе РНП лишь функционально связаны с вектором состояния потребителя, компонентами которого являются координаты и составляющие вектора скорости потребителя в гринвичской системе координат.

Вторичная обработка преобразовывает РНП в вектор $\vec{q}$ на основе навигационных алгоритмов и обеспечивает решение сервисных задач, состав которых зависит от требований потребителя.

В литературе [1] в главе 6 авторы дают следующее деление методов и алгоритмов обработки сигналов в своей области на первичную и вторичную:

“Алгоритмы первичной обработки - алгоритмы поиска сигналов по задержке и частоте, алгоритмы фильтрации фазы, задержки сигнала и оценки дискретного параметра. Алгоритмы вторичной обработки - итерационные алгоритмы определения координат, определение координат при избыточности

измерений, сравнение точности оценок координат потребителя, полученных псевдодальномерным и разностнодальномерным методами”.

Условимся в учебных целях первичной называть достаточно простые преобразования сигнала, выполняемые в режиме реального времени непосредственно в месте приема сигнала. Это может быть усиление, оцифровка, фильтрация, компрессия и решение практических задач статистического анализа данных.

Вторичной обработкой будем считать обработку, осуществляемую в отложенном режиме времени, требующую для своей реализации более сложного математического обеспечения.

Третичной назовем обработку, на основе которой должны быть приняты так называемые управляющие решения (решения с очень весомыми последствиями). Одной из характеристик последних является то, что для их принятия необходимо привлечение и анализ большого количества обработанной информации по большому количеству параметров с привлечением баз данных и баз знаний, методов многокритериального оценивания, оптимизации решений и т. д.

Методы анализа процессов, протекающих в РПУ

Одним из наиболее универсальных методов познания является *метод математических моделей* (математическое моделирование).

Математическая модель - это описание какого-либо класса явлений реального мира на языке математики. Метод моделирования дает возможность применять математический аппарат к решению практических задач. Понятия числа, геометрической фигуры, уравнения, неравенства, функции, производной являются простейшими примерами математических моделей.

Независимо от предыдущей классификации любой вид обработки сигналов любого вида базируется на построении математической модели. Математическая модель определяет необходимое программное обеспечение для своей реализации и определяется тем математическим *методом*, который выбран для ее получения.

Не претендуя на полноту охвата, перечислим основные методы, применяемые для анализа процессов, протекающих в РПУ:

1. Метод, основанный на Фурье-преобразовании,
2. операционный метод (преобразование Лапласа-Карсона),
3. метод на основе интеграла наложения (интеграла Дюамеля),
4. метод, основанный на решении неоднородного линейного дифференциального уравнения,
5. метод, основанный на вейвлет-преобразовании.

Здесь мы остановимся на введении в вейвлет-анализ, как наиболее распространяющийся в настоящее время, а применяемый нами на практике 4-й метод подробно изложен в литературе [3].

Вейвлеты

Вейвлеты (wavelets) — это обобщенное название временных функций, имеющих вид волновых пакетов той или иной формы, локализованных по оси

независимой переменной (t или x) и способных к сдвигу по ней и масштабированию (сжатию-растяжению). Вейвлеты создаются с помощью специальных базисных функций — прототипов, задающих их вид и свойства. По локализации во временной и частотной областях они занимают промежуточное положение между синусоидальной функцией и функцией Дирака.

Общая характеристика и место вейвлетов

Набор вейвлетов, в их временном или частотном представлении, может приближать сложный сигнал или изображение, причем идеально точно или с некоторой погрешностью. Вейвлеты имеют явные преимущества в представлении локальных особенностей функций по сравнению с рядами Фурье. В области обработки изображений они дают новые эффективные способы обработки изображений, например, удаления из них шума и сжатия файлов, хранящих изображения.

Благодаря прекрасному представлению локальных особенностей сигналов, принципиально отсутствующему у рядов Фурье, вейвлеты нашли практическое применение для анализа тонких особенностей сложных сигналов и изображений, для их сжатия и очистки от шума. Это полезно в геофизике, биологии, медицине, радиотехнике и других отраслях науки и техники. Вейвлет-преобразования считаются перспективными для передачи сжатых изображений по каналам Интернета с ограниченной пропускной способностью. Они уже положены в основу новейшей техники сжатия видеоинформации по массовому и популярному стандарту записи видеофильмов на компакт-диски - MPEG 4.

Вейвлеты как новое научное направление

Вейвлеты и основанные на них интегральные вейвлет-преобразования были предложены в начале 90-х годов прошлого века (хотя первый простейший тип вейвлета, по существу, был описан Хааром (Haar) еще в 1909 году) и в последующее время интенсивно развивались. Наибольший вклад в разработку теоретических основ вейвлетов внесли Мейер (Meyer), Добеши (Daubechies) и Маллат (Mallat), опубликовавшие первые теоретические работы в этом направлении и донесшие их до широкой научной общественности.

В последние годы резко активизировался интерес к вейвлетам и у нас в России. Однако все доступные у нас работы по вейвлетам носят сугубо теоретический характер. В них почти отсутствуют материалы по практической реализации сложных вейвлет-преобразований. А между тем, специальные пакеты расширения по вейвлетам (причем уже не первые их версии) включены в целый ряд серьезных систем компьютерной математики, например, в популярные у нас последние версии систем MATLAB, Mathematica и даже в Mathcad. Однако их описания в литературе нет.

Идея вейвлет-преобразования

В последнее время наметилась тенденция к использованию широкополосных импульсных и цифровых сигналов (локация прямоугольными

импульсами, видеосредства компьютеров и т. д.). Общепринятым подходом к анализу таких сигналов $S(t)$ является их представление в виде взвешенной суммы простых составляющих - базисных функций $\psi_k(t)$ помноженных на коэффициенты.

$$S(t) = \sum_k C_k \psi_k(t) \quad (1)$$

Так как базисные функции зафиксированы как функции определенного типа, только коэффициенты содержат информацию о конкретном сигнале. Таким образом, можно говорить о возможности представления произвольных сигналов на основе рядов с различными базисными функциями.

Ряд Фурье использует в качестве базисных функций в (1) синусоиды. Они предельно локализованы в частотной области (вырождаясь на спектрограмме в вертикальную линию), но вообще не локализованы во временной области. Противоположный пример — импульсная базисная функция

$$\psi_k(t) = \delta_k(t) = \begin{cases} 1, k = t \\ 0, k \neq t \end{cases}$$

Она четко локализована во временной области и потому идеально подходит для представления разрывов сигнала. Но эта базисная функция не несет информации о частоте сигнала и потому плохо приспособлена для представления сигналов на заданном отрезке времени и тем более периодических сигналов.

Термин «вейвлет», введенный впервые Морлетом (J. Morlet), в переводе с английского *wavelet* означает «короткая волна». У нас его изначально переводили как «всплеск», «выброс» и т. д., что менее удачно.

Вейвлеты занимают промежуточное положение между рассмотренными нами крайними случаями (синусоидой и импульсной функцией) и образуют некоторый набор функций, удовлетворяющих сформулированным далее условиям и основанных на использовании представления сигнала в виде (1).

Базисными функциями вейвлетов могут быть различные функции, в том числе напоминающие модулированные импульсами синусоиды, функции со скачками уровня и т. д. Это обеспечивает легкое представление сигналов с локальными скачками и разрывами наборами вейвлетов того или иного типа. Почти все вейвлеты не имеют аналитического представления в виде одной формулы и могут задаваться итерационными выражениями.

Вейвлеты характеризуются своим временным и частотным образами — рис. 24. Временной образ определяется некоторой ψ -функцией времени $\psi(t)$. А частотный образ задается ее Фурье-образом $\Psi(w)$, который задает огибающую спектра вейвлета. Если вейвлет в пространстве сужается, его «средняя частота» повышается, спектр вейвлета перемещается в область более

высоких частот и расширяется. Этот процесс можно считать линейным — если вейвлет сужается вдвое, то его средняя частота и ширина спектра возрастают также вдвое.

Даже интуитивно ясно, что совокупность волновых пакетов, напоминающих модулированную импульсами синусоиду или подобных приведенному на рис. 8 вейвлету, способна хорошо отражать локальные изменения сигналов — рис. 9. Однако вопрос о представлении произвольного сигнала в произвольно заданном промежутке времени пока остается открытым. Он будет решен с введением понятия кратномасштабного анализа.

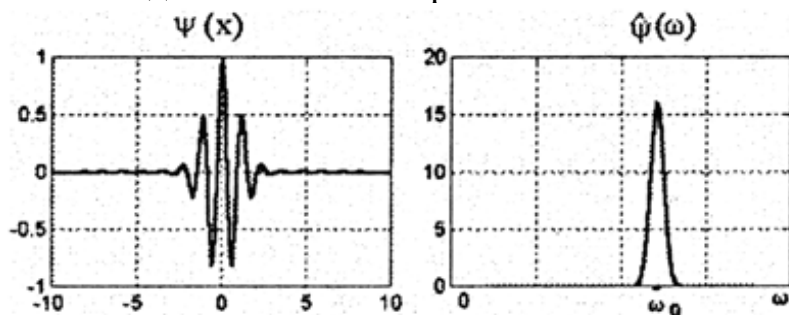


Рис. 8 . Временной и частотный образы вейвлета

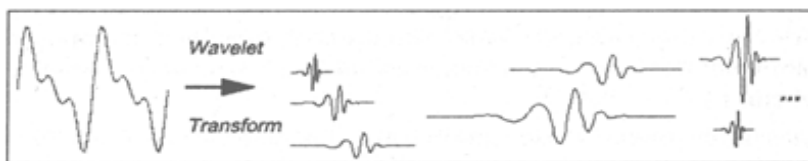


Рис. 9 . Иллюстрация к вейвлет-синтезу сигнала

Итак, с помощью вейвлетов сигнал представляется совокупностью волновых пакетов — вейвлетов, образованных на основе некоторой исходной (базисной, образующей и т. д.) функции $\psi_0(t)$. Эта совокупность разная в разных частях временного интервала определения сигнала и представляет последний с той или иной степенью детальности (см. рис. 9). Такой подход называют вейвлет - анализом сигналов.

Число используемых при разложении сигнала вейвлетов задает уровень декомпозиции сигнала. При этом за нулевой уровень декомпозиции принимается сам сигнал, а уровни декомпозиции образуют ниспадающее вейвлет-дерево того или иного вида. Точность представления сигнала по мере перехода на более низкие уровни декомпозиции снижается, но зато появляется возможность вейвлет-фильтрации сигналов, удаления из сигналов шумов и эффективной компрессии сигналов.

Вейвлет-составляющие сигнала даже внешне не имеют ничего общего с синусоидами, и они представлены сигналами подчас весьма сложного и порою не вполне понятного вида. Это, кстати, существенный недостаток вейвлетов с позиции наглядного их понимания и представления.

Вполне очевидно, что для представления сигналов как в локальных областях их возмущений, так и во всем временном интервале изменения сигналов, надо иметь возможность сжимать или растягивать вейвлеты и перемещать их по временной оси.

Основы теории вейвлет-преобразований

Прямое вейвлет-преобразование (ПВП) означает разложение произвольного входного сигнала на составляющие с использованием базиса в виде совокупности волновых пакетов — вейвлетов, которые характеризуются четырьмя принципиально важными свойствами:

1. имеют вид коротких, локализованных во времени (или в пространстве) волновых пакетов с нулевым значением интеграла вейвлет-функции;
2. обладают возможностью сдвига по оси времени;
3. способны к масштабированию (сжатию-растяжению);
4. имеют ограниченный (или локальный) частотный спектр.

Этот базис может быть ортогональным, что заметно облегчает анализ, дает возможность реконструкции сигналов и позволяет реализовать алгоритмы быстрых вейвлет-преобразований. Однако есть ряд вейвлетов, которые свойствами ортогональности не обладают, но которые, тем не менее, практически полезны — например, в задачах анализа и идентификации локальных особенностей сигналов и функций.

Аппроксимирующая и детализирующая компоненты вейвлетов

Одна из основополагающих идей вейвлет-представления сигналов заключается в разбивке приближения к сигналу на две составляющие — грубую (аппроксимирующую) и уточненную (детализирующую) — с последующим их дроблением с целью изменения уровня декомпозиции сигнала. Это возможно как во временной, так и в частотной областях представления сигналов вейвлетами.

В основе непрерывного вейвлет-преобразования НВП (или CWT-Continue Wavelet Transform) лежит использование двух непрерывных и интегрируемых по всей оси t (или x) функций:

1. вейвлет-функция ψ $\Psi(t)$ с нулевым значением интеграла,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$$

определяющая детали сигнала и порождающая детализирующие коэффициенты;

2. масштабирующая, или скейлинг-функция ϕ $\varphi(t)$ с единичным значением интеграла

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1$$

Она определяет грубое приближение (аппроксимацию) сигнала и порождает коэффициенты аппроксимации.

Phi-функции $\psi(f)$ присущи далеко не всем вейвлетам, а только тем, которые относятся к ортогональным.

Остановимся на свойствах psi-функции $\psi(t)$ и на приближении ими локальных участков сигналов $s(t)$.

Psi-функция $\psi(t)$ создается на основе той или иной базисной функции $\psi_0(t)$, которая, как $\psi(t)$, определяет тип вейвлета. Базисная функция должна удовлетворять требованиям, которые были отмечены для psi-функции $\psi(t)$ и обеспечивать выполнение двух основных операций:

1. смещение по оси времени

$$t - \psi_0(t - b) \quad \text{при} \quad b \in R$$

2. масштабирование

$$a^{-1/2} \psi_0\left(\frac{t}{a}\right) \quad \text{при} \quad a > 0 \quad \text{и} \quad a \in R^+ - \{0\}$$

R – область определения параметра.

Параметр a задает ширину этого пакета, а параметр b — его положение. В ряде литературных источников вместо явного указания времени t используется аргумент x , а вместо параметров a и b используются имеющие тот же смысл иные обозначения. Нетрудно убедиться в том, что следующее выражение задает сразу два этих свойства функции $\psi(t)$:

$$\psi(t) = a^{-1/2} \psi_0\left(\frac{t - b}{a}\right)$$

Итак, для заданных a и b функция $\psi(t)$ и есть вейвлет.

Вейвлеты являются вещественными функциями времени t и колеблются вокруг оси t (или x и т. д.). Параметр b задает положение вейвлетов, а параметр a — их масштаб. О вейвлетах, четко локализованных в пространстве, говорят, что они имеют компактный носитель.

Вейвлет-анализ сигналов открывает принципиально новые возможности в детальном анализе тонких особенностей сигналов. Это особенно важно для звуковых сигналов и сигналов изображения, где именно такие особенности подчас определяют качество их воспроизведения. Биология, картография, медицина, астрономия и космос — все это именно те области, где применение вейвлетов способно привести к новым открытиям путем выявления характерных особенностей сигналов и изображений, мало заметных на временных зависимостях сигналов и на их спектрах Фурье.

Вейвлеты, будучи функциями времени, имеют свое частотное представление, или Фурье-образ $\psi(\omega)$. Налагаемое на функцию $\psi(t)$ условие (нулевое значение интеграла) означает, что $\psi(0) = 0$. Последнее указывает на то, что Фурье-образ смещен и будет расположен вокруг некоторой ненулевой частоты ω_0 , которую можно рассматривать как среднюю круговую частоту вейвлета.

В частотной области спектры многих вейвлетов напоминают всплеск, пик которого приходится на частоту ω_0 (рис. 24). Если приближенно трактовать вейвлет как модулированную синусоиду, то ее частота и будет средней

частотой вейвлета. В общем же случае, когда временная зависимость вейвлетов далека от синусоидальной, определение средней частоты требует обработки сигнала и реализуется итерационными методами.

Частотное (спектральное) представление вейвлетов имеет важное значение в определении фильтрующих свойств вейвлет-преобразований и основанном на них алгоритме быстрого вейвлет-преобразования (БВП). Нетрудно заметить, что есть прямая связь между временным и частотным представлением вейвлетов. Так, малые значения параметра a , характеризующие быстрые процессы в сигналах, соответствуют высоким частотам, а большие значения (соответствующие медленным изменениям сигнала) — низким частотам.

Временное и частотное представление вейвлетов — это две стороны одной медали, имя которой — вейвлет.

Контрольные вопросы к теоретической части

Введение

1. Что такое ЦСИО?

Принципы организации радиосвязи

1. Что такое радиолиния?
2. Как работает радиолиния?
3. Где используется радиолиния?
4. Что применяют для повышения эффективности использования оборудования и увеличения пропускной способности радиолинии?
5. Что такое канал радиосвязи?
6. Что называется многоканальной радиосвязью?
7. Как организуется двусторонняя радиосвязь?
8. Что такое симплексная связь?
9. Что такое дуплексная связь?
10. Что такое радиорелейная линия связи?

Классификация радиочастот

1. Что называется номинальной частотой передающей радиостанции?
2. На сколько диапазонов делятся радиочастоты по международному регламенту радиосвязи?
3. Какими номерами обозначены диапазоны?
4. Как вычислить величину диапазона с заданным номером?
5. С учетом каких требований выбирают рабочую частоту линии радиосвязи?
6. Какой диапазон используют для организации многоканальной радиолинии?

Методы приема сигналов

Оптимальный прием аналоговых сигналов

1. Какая модуляция используется обычно в аналоговых системах, работающих в диапазонах низких, средних или высоких частот?
2. Каким является этот вид модуляции, почему?
3. Где он применяется?

4. Какой вид модуляции используется часто в более высокочастотных диапазонах в системах звукового вещания, в подвижной связи, в радиорелейных и спутниковых системах передачи, многоканальной телефонии?
5. Каким является этот вид модуляции?
6. Где он еще применяется?
7. Что является демодулятором в случае АМ принимаемого сигнала?
8. Что является демодулятором в случае ОБП принимаемого сигнала?
9. Что является демодулятором в случае ЧМ принимаемого сигнала?
10. Когда были изобретены фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) и следящие демодуляторы ЧМ сигнала?
11. Какой требуется уровень отношения "сигнал/шум" на входе приемника для реализации приема сигналов с АМ, ОБП и ЧМ?
12. Что происходит при низких уровнях принимаемого сигнала?
13. Когда была создана теория оптимального приема, имеющая два варианта - ГТОП и МТОП?

Сигналы с дискретным временем

1. Что такое дискретизация по времени?

Цифровые сигналы

1. Что такое квантование сигнала?
2. Что такое шкала квантования?
3. Что такое шаг квантования?
4. Что такое цифровой сигнал?
5. Что такое шум квантования?

Цифровая обработка сигналов

1. С какого места радиотракта может быть применена цифровая обработка сигнала в приёмных системах?
2. Какая промежуточная частота наиболее выгодна для цифровой обработки? Почему?
3. Какова должна быть схема обработки?

Преимущества цифровой обработки радиосигнала

1. Перечислите преимущества цифровой обработки.

Структура цифрового приемника

1. Где сосредоточены основные элементы цифровой части приёмника?
2. Что делает этот модуль?
3. Перечислите основные компоненты модуля.
4. Перечислите функции специализированного сигнального процессора DDC.
5. Что такое децимация?
6. Как изменяется отношение Сигнал/Шум на выходе DDC?
7. Как в аппаратном смысле организована цифровая обработка сигнала?
8. Что применяется для моделирования и выполнения программ ЦОС?

Виды обработки сигналов

1. Как подразделяется обработка сигнала по задачам ею решаемым?
2. Что включает в себя первичная обработка сигнала?

3. Что включает в себя вторичная обработка сигнала?
4. Что включает в себя третичная обработка сигнала?

Методы обработки сигналов

1. Назовите один из универсальных методов познания.
2. Что такое математическая модель?
3. Перечислите основные методы, применяемые для анализа процессов, протекающих в РПУ.

Вейвлеты

1. Что такое вейвлеты? Как они создаются?

Общая характеристика и место вейвлетов

1. В чем преимущество вейвлетов перед рядами Фурье?
2. Перечислите области применения вейвлетов.

Вейвлеты как новое научное направление

1. Когда появились вейвлеты как научное направление?
2. В какие программные приложения включены специальные пакеты расширения по вейвлетам?

Идея вейвлет-преобразования

1. Что является общепринятым подходом к анализу широкополосных импульсных и цифровых сигналов?
2. Что может являться базисными функциями вейвлетов? Каково их место в “системе отсчета” гармонический сигнал – дельта-функция?
3. Чем характеризуются вейвлеты?
4. Что называют вейвлет-анализом сигналов?
5. Чем задается уровень декомпозиции сигнала?

Основы теории вейвлет-преобразований

1. Что такое прямое вейвлет-преобразование?
2. Перечислите 4 свойства волнового пакета?
3. Должен ли быть этот базис обязательно ортогональным?
4. Когда возможно применить быстрое вейвлет-преобразование?

Аппроксимирующая и детализирующая компоненты вейвлетов

1. Назовите одну из основополагающих идей вейвлет-представления сигналов.
2. Что лежит в основе непрерывного вейвлет-преобразования?
3. Что определяет вейвлет-функция ψ ?
4. Что определяет скейлинг-функция ϕ ?
5. Каким вейвлетам присуща ϕ - функция?
6. Какие основные операции обеспечивает базисная ϕ - функция?
7. Напишите выражение, задающее сразу два этих свойства функции $\psi(t)$ для параметров a и b .
8. О каких вейвлетах говорят, что они имеют компактный носитель?
9. Что такое Фурье-образ вейвлета?
Что такое средняя круговая частота вейвлета?

Лабораторные работы

Лабораторная работа №1

Исследование характера сопротивления ненаправленной приемной антенны
Цель работы:

1. получение и анализ математической модели ненаправленной приемной антенны;
2. Компьютерное моделирование ненаправленной приемной антенны с использованием программы MathCAD2001 для исследования ее свойств в районе резонанса.

Основные понятия и термины.

Эквиваленты приемных антенн

Антенну, как и любой источник сигнала, можно представить эквивалентным генератором с ЭДС E_a и сопротивлением Z_a , либо током I_a и проводимостью Y_a .

Характер сопротивления антенны зависит от:

1. Ее типа;
2. Диапазона принимаемых частот;
3. Других факторов.

Антенна в виде отрезка провода (ненастроенная антенна) длиной от нескольких метров до нескольких десятков метров на частотах от 100 кГц до 3 МГц может быть представлена эквивалентной схемой (рис. 10):

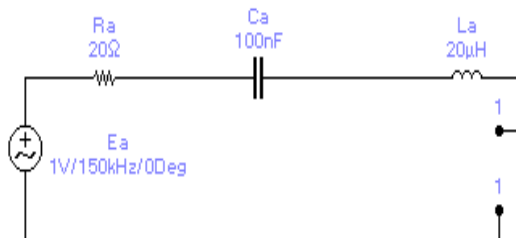


Рис. 10 . Эквивалентная схема последовательного колебательного контура

Известно, что резонансная частота такой системы:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 1/\sqrt{LC} \quad (1),$$

где L и C – значения элементов цепи.

Относительная расстройка частоты:

$$\Delta = \omega/\omega_0 - \omega_0/\omega = (\omega^2 - \omega_0^2)/\omega\omega_0 \quad (2),$$

где ω - частота внешнего воздействия

Известно, что добротность, характеризующая количественно явление резонанса, в последовательном колебательном контуре определяется как

$$Q = \omega_0 L/R = 1 / RC\omega_0 \quad (3)$$

А комплексное сопротивление последовательного колебательного контура определяется:

$$Z = R + j\omega L + 1/j\omega C \quad (4)$$

Учитывая (1) - (4) можно получить

$$|Z| = R\sqrt{1 + Q^2 \Delta^2} \quad (5)$$

и

$$|Z| / R = \sqrt{1 + Q^2 \Delta^2} \quad (6)$$

А также

$$\operatorname{tg} \varphi = Q\Delta, \text{ откуда } \varphi = \operatorname{arctg}(Q\Delta) \quad (7)$$

Формулы (6) и (7) дают возможность оценить поведение цепи вблизи резонанса, имея в качестве ее характеристики только значение добротности. Таким образом сделанные выводы распространяются на класс систем, удовлетворяющих заданному критерию.

Задание.

1. Сделать вывод формул (6) и (7). Проанализировать поведение математической модели качественно: при $\omega/\omega_0 \rightarrow -\infty$, $\omega/\omega_0 \rightarrow \infty$ и $\omega/\omega_0 = 1$.
2. Построить компьютерную модель исследуемой цепи с помощью программы MathCAD.
3. Построить зависимости $|Z|/R$ и φ от f/f_0 для разных значений добротности на одном графике.
4. Значения добротности для разных вариантов взять из таблицы 1.
5. Диапазон изменения аргумента взять $0,8 \leq f/f_0 \leq 1,2$.
6. Сделать выводы.
7. Составить отчет в WORD или MathCAD.

Порядок выполнения работы.

1. Открыть сеанс работы в сети.
2. Загрузить MathCAD2001.
3. Оформить в режиме "создания текстового региона" название и цель работы.
4. Описать математическую модель.
5. Сделать возможные преобразования с помощью программы
6. Окончательно преобразовать модель к виду (7) и (6).
7. Построить расчетные кривые на одном графике.
8. Оформить в режиме "создания текстового региона" выводы.
9. Промежуточные и окончательный результат сохранять на диске в каталоге STUDENT в подкаталоге группы.

10.Оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными на сайте кафедры. Адрес: <http://a363-2/>

Варианты заданий.

Таблица 1

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q ₁	20	10	15	25	5	12	25	20	30	40
Q ₂	70	60	75	80	10 0	55	10 5	45	90	12 0
Q ₃	120	10 0	11 0	13 0	20 0	95	15 5	14 0	25 0	24 0

Вид отчетности.

Текущий контроль – ответы на вопросы преподавателя с демонстрацией работы на мониторе компьютера.

Рубежный контроль – сдача подписанной распечатки отчета и собеседование по нему.

Лабораторная работа №2

Исследование частотных характеристик селективных цепей РПУ.

Параллельный колебательный контур

Цель работы: закрепление на практике теоретического материала по теме "Входные цепи радиоприемника. Частотноселективные цепи. Параллельный колебательный контур".

Основные понятия и термины.

Входные цепи

Входной цепью называется цепь, соединяющая антенну с первым усилительным или преобразовательным каскадом приемника. Входная цепь должна наиболее полно передавать энергию сигнала из антенны в первый каскад приемника. Входная цепь должна обладать селективными свойствами для предварительной фильтрации сигнала от помех. Для обеспечения селективности она должна содержать фильтр или фильтры, связанные с помощью цепей связи с антенной и с входом последующего каскада.

Схемы различных входных цепей отличаются друг от друга видами фильтров и цепей связи.

Различают следующие *виды цепей связи*:

1. Непосредственная,
2. Емкостная (внутренняя и внешняя),
3. Трансформаторная,
4. Автотрансформаторная,
5. Комбинированная.

Основными *показателями качества* входной цепи являются:

1. Коэффициент передачи,
2. Селективность и полоса пропускания,

3. Коэффициент шума,
4. Диапазон рабочих частот.

Резонансные цепи - основа разделения сигналов по частотам в радиотехнике.

Параллельный колебательный контур

Известно, что резонансная частота такой системы:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 1/\sqrt{LC} \quad (1),$$

где L и C – значения элементов цепи.

Относительная расстройка частоты:

$$\Delta = \omega/\omega_0 - \omega_0/\omega = (\omega^2 - \omega_0^2)/\omega\omega_0 \quad (2)$$

Добротность параллельного колебательного контура определяется как

$$Q = \omega_0 CR = R / L\omega_0 \quad (3)$$

Комплексная проводимость параллельного колебательного контура определяется следующим образом:

$$Y = 1/R + j\omega C + 1/j\omega L = (1 + j Q \Delta)/R \quad (4)$$

Комплексное сопротивление параллельного колебательного контура определяется как

$$Z = 1/Y = R/(1 + jQ \Delta) \quad (5)$$

Откуда

$$|Z|/R = 1/\sqrt{1 + Q^2 \Delta^2} \quad (6)$$

и

$$\varphi = - \arctg (Q \Delta) \quad (7)$$

Настройка и перестройка колебательного контура

В радиотехнике приходится настраивать колебательные контуры и фильтры, основанные на резонансе в цепях из катушек индуктивности и конденсаторов. Широко применяются пьезоэлектрические (кварцевые и керамические) и. т. д. Все они служат для настройки радиоаппаратуры на нужные частоты и для выделения сигналов с заданными частотами.

Перестройка колебательного контура подразделяется на плавную и дискретную.

Плавная перестройка производится в диапазоне или поддиапазоне частот. Она осуществляется либо механически конденсатором переменной емкости КПЕ, либо варакторами (емкостными диодами, варикапами) изменением управляющего напряжения.

Преимущество КПЕ с воздушной изоляцией между пластинами ротора и статора - меньше потери радиочастотной энергии, соответственно осуществляется более острый резонанс.

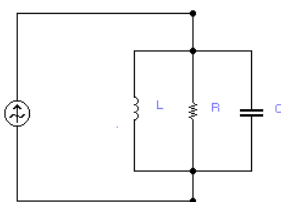


Рис. 11 . Эквивалентная схема параллельного колебательного контура

Недостатки КПЕ - сложность конструкции, сравнительно большие размеры, чувствительность к механическим и акустическим вибрациям.

Обычно число перестраиваемых колебательных контуров с КПЕ в радиоустройствах не превышает 3-4.

Преимущество варакторной настройки - миниатюрность, виброустойчивость, прочность, возможность управлять настройкой с помощью автоматических электронных устройств, низкая стоимость.

Задание: аналогично заданию лабораторной работы №1 применительно к параллельному колебательному контуру. Данные для расчетов взять из таблицы 1.

Порядок выполнения работы:

Порядок выполнения работы аналогичен изложенному в лабораторной работе № 1.

Лабораторная работа №3

Снятие резонансной характеристики последовательного колебательного контура

Цель работы: закрепление на практике теоретического материала по теме " Эквивалент приемной антенны. Входные цепи радиоприемника", а также закрепление практического навыка моделирования радиотехнических цепей и работы с измерительными приборами с помощью пакета Electronics Workbench.

Основные понятия и термины

приведены в лабораторных работах №1 и №2.

Задание:

1. Собрать цепь, состоящую из последовательно соединенных сопротивления R , конденсатора постоянной емкости C , катушки постоянной индуктивности L .
2. Смоделировать протекание в цепи синусоидального переменного тока с частотами из диапазона $f_0 - 10$ Гн - $f_0 + 10$ Гц с шагом Δf Гц (с помощью источника переменного синусоидального напряжения величины E). Значения R , L , C , E для разных вариантов приведены таблице 2.
3. Измерить величину напряжения на конденсаторе для всех частот заданного диапазона. Данные занести в таблицу 3.
4. На основе значений из таблицы 3 построить в EXCEL график.
5. Сравнить полученные показания с расчетами, проанализировать полученные результаты. Объяснить их.

6. Составить отчет с иллюстрациями в любом из приложений: WORD, Excel.

Таблица 2

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	1 Ом		1 Ом		0,1 Ом		0,1 Ом		0,5 Ом	
C	15,92 мкФ		45,5 мкФ		35,39 мкФ		0,1062 мФ		13,97 мкФ	
L	0,159Г н		0,223 Гн		2,866 мГн		2,654 мГн		0,05 Гн	
E (В)	1	2	1, 5	1, 3	0, 7	2, 8	0, 8	0, 5	3	2, 5

Порядок выполнения работы:

1. Открыть сеанс работы в сети.
2. Загрузить Excel.
3. Оформить в режиме "создания надписи" название и цель работы.
4. Создать столбик значений частот с заголовком.
5. Создать заголовок столбика значений измеряемой величины.
6. Загрузить Electronics Workbench.
7. Собрать исследуемую цепь.
8. Задать первое значение частоты сигнала.
9. Измерить напряжение на конденсаторе.
10. Записать полученную величину в соответствующую ячейку документа Excel.
11. Повторить пункты (8), (9), (10) для всех частот сигнала
12. Построить средствами Excel экспериментальную кривую.
13. Оформить выводы.
14. Оформить отчет.
15. Файл с отчетом сохранить на диске.
16. Сделать распечатку отчета.
17. Завершить сеанс работы в сети.

Таблица 3

F_{min} (Гц)	$F_{min} + \Delta f$	$F_{min} + 2\Delta f$	$F_{min} + 3\Delta f$	$F_{min} + 4\Delta f$	$F_{min} + 5\Delta f$	$F_{min} + 6\Delta f$	$F_{min} + 7\Delta f$	$F_{min} + 8\Delta f$	F_{max} (Гц)
U _c (В)									

Вид отчетности.

Допуск к выполнению работы по результатам собеседования с преподавателем.

Результаты выполнения лабораторной работы сохраняются в файле с именем lab3 в индивидуальном каталоге каждого пользователя. По окончании работы сдается распечатка отчета.

Лабораторная работа №4

Снятие резонансной характеристики параллельного колебательного контура

Цель работы: закрепление на практике теоретического материала по теме " Входные цепи радиоприемника. Эквивалент приемной антенны", а также закрепление практического навыка моделирования радиотехнических цепей и работы с измерительными приборами с помощью пакета Electronics Workbench.

Основные понятия и термины

приведены в лабораторных работах №1 и №2.

Задание:

задание лабораторной работы №3 применительно к параллельному колебательному контуру. Значения R, L, C, E для разных вариантов приведены таблице 4.

Порядок выполнения работы:

Аналогичен порядку выполнения лабораторной работы №3

Вид отчетности тот же

Таблица 4

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R (Ом)	100		150		150		500		100	
			0		0				0	
C	100,6 мкФ		0,1327 мкФ		0,1062 мкФ		0,3185 мФ		100,6 мкФ	
L	6,984 мГн		4,777 мкГн		23,89 мГн		7,962 мГн		6,984 мГн	
I (A)	0, 1	0, 08	0, 12	0, 13	0, 2	0, 19	0, 09	0, 07	0, 1	0, 09

Лабораторная работа №5

Исследование прохождения импульсного радиосигнала в селективной цепи типа последовательный колебательный контур в РПУ

Цель работы: исследование искажений прямоугольного радиоимпульса при прохождении частотно-селективной цепи типа последовательный колебательный контур.

Для этого необходимо:

1. Получить и проанализировать математическую модель процесса прохождения сигналом вида $e(t)=E_m \sin(\omega_c t)$ при $0 < t < t_{\text{имп}}$ селективной цепи типа последовательного колебательного контура;
2. Сделать компьютерное моделирование этого процесса с использованием программы MathCAD2001 для сигнала заданной длительности.
3. Исследовать форму и длительность переходного процесса на переднем и заднем фронте импульса в зависимости от характеристик цепи.

Основные понятия и термины.

Последовательный колебательный контур представляет собой один из видов селективных цепей в РПУ. На рис. 12 приведена эквивалентная схема.

Исследуем временные характеристики последовательного колебательного контура, составив дифференциальное уравнение для схемы рис. 12.

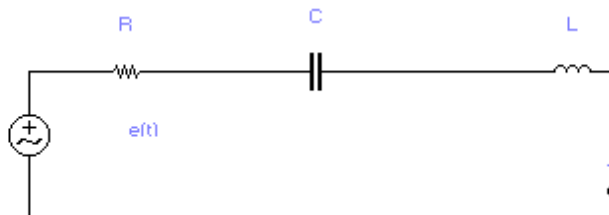


Рис. 12. Эквивалентная схема последовательного колебательного контура

Баланс напряжений в контуре:

$$e(t) = u_c + u_R + u_L, \quad (1)$$

где

u_c - напряжение на конденсаторе,

u_R - напряжение на сопротивлении,

u_L - напряжение на индуктивности.

Воспользовавшись известными из электротехники соотношениями, можно получить:

$$e(t) = u_c + RC \, du_c/dt + LC \, d^2 u_c/dt^2 \quad (2)$$

или

$$d^2 y/dt^2 + 2\alpha \, dy/dt + \omega_0^2 y = \omega_0^2 e(t), \quad (3)$$

где

$y = u_c$,

$\alpha = R/2L = \omega_0 / 2Q$ - постоянная затухания,

$e(t) = E_m \sin(\omega_c t)$.

Решение уравнения находим в виде суммы двух составляющих:

1. свободной $u_1(t)$, связанной с собственными автоколебаниями в цепи,
2. и вынужденной $u_2(t)$, определяемой внешним воздействием.

$$y(t) = u_1(t) + u_2(t) = U_1 e^{-\alpha t} \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + U_c \sin(\omega_c t + \varphi_c), \quad (4)$$

где

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = \omega_0 \sqrt{1 - 1/(4Q^2)}$$

Видно, что амплитуда свободной составляющей со временем затухает, а вынужденной имеет постоянное значение.

Определим время переходного процесса в цепи при резонансе. Согласно (4) переходной процесс можно считать законченным при выполнении условия $\alpha t_{\text{пер}} = 3$. С учетом выражения для α после преобразований длительность переходного процесса определится как $t_{\text{пер}} = Q/f$.

Построенная модель отражает поведение бесконечного гармонического колебания.

Задание:

1. В MathCAD получить математическую модель (выражение (3)).
2. Выполнив замену переменных, перейти к зависимости от текущей фазы.

3. Определить значение критической добротности цепи согласно варианту, в котором указана длительность сигнала (таблица 5).
4. Построить зависимости U_c от текущей фазы для разных значений добротности цепи в момент резонанса, т. е. значение расстройки по частоте --- 1.
5. Построить зависимость длительности переходного процесса от добротности. Диапазон изменения добротности и шаг выбрать самостоятельно.
6. Построить зависимости U_c от текущей фазы для значения расстройки, заданной в таблице 5.
7. Составить отчет с иллюстрациями в любом из приложений: WORD, MathCAD.
8. Сделать выводы.

Порядок выполнения работы:

1. Открыть сеанс работы в сети.
2. Загрузить MathCAD2001.
3. Оформить в режиме "создания текстового региона" название и цель работы.
4. Ввести математическую модель (Записать исходные формулы).
5. Сделать возможные преобразования с помощью программы (Режим - Symbolic).
6. Задать конкретные значения добротности.
7. Выполнить расчеты для случая резонанса.
8. Искать решение с помощью подпрограммы "rkfixed", при этом учесть, что решение - матрица.
9. Построить полученную кривую на графике. Все исходные данные должны фигурировать в подписи рисунка.
10. Рассчитать длительность переходного процесса.
11. На графике маркером отметить полученную длительность переходного процесса.
12. Изменить значение добротности, выбрав следующее значение из выбранного диапазона.
13. Повторить пункты 7-10 для всех добротностей.
14. Построить зависимость длительности переходного процесса от добротности.
15. Задать значение расстройки по частоте и значение добротности согласно варианту и получить решение.
16. Оформить в режиме "создания текстового региона" выводы.
17. Промежуточные и окончательный результат сохранять на диске.
18. Оформить отчет.
19. Файл с отчетом сохранить на диске.
20. Сделать распечатку отчета.

Варианты заданий.

Таблица 5

№ вар	1	2	4	5	6	7	8	9
f_0 / f	150/130	125/130	200/180	300/320	170/180	500/510	500/530	500/520

Q	10	30	70	80	100	40	125	220
t _{имп(сек)}	0,2	0,4	0,5	0,28	0,7	0,3	0,35	0,45

Продолжение таблицы 5

№ вар	10	11	12	13	14	15	3
f ₀ / f	1000/1050	300/280	1400/1350	1500/1540	850/854	1850/1810	105/130
Q	20	15	200	30	120	25	60
t _{имп(сек)}	0,05	0,07	0,15	0,03	0,17	0,02	0,6

Лабораторная работа №6

Первичная обработка выборочных данных

Цель работы: на практике познакомиться с первичной обработкой выборочных данных, применяя в качестве инструмента программное приложение MathCAD.

Основные понятия и термины.

Шумы, имеющие место в канале связи, которым является среда распространения радиосигнала, очень часто являются случайными величинами.

Каждая случайная величина полностью описывается своей функцией распределения или просто распределением.

Первичная обработка выборочных данных состоит обычно в отыскании максимального и минимального значения выборки, а также в построении вариационного ряда – массива данных, записанных в порядке возрастания, гистограммы и полигона частот. Для выполнения этих вычислений в MathCAD предназначены функции max(A), min(a), sort(A).

Наиболее наглядной формой графического представления выборки является гистограмма – вектор, каждый элемент которого равен количеству выборочных значений, попадающих в соответствующий интервал группировки. В MathCAD для выполнения гистограммы предназначена функция hist(delta,A).

Очевидно, что величина интервала группировки существенно влияет на вид гистограммы (bin). При малой ширине в каждый интервал попадает незначительное число наблюдений или даже не попадает вовсе ни одного, в результате гистограмма становится сильно изрезанной и плохо передает основные особенности изучаемого распределения. Другая крайность – большие интервалы группировки. В этом случае скрадываются основные особенности распределения

Используя hist(delta,A), можно построить полигон частот – ломаную линию, соединяющую точки с абсциссами, равными серединам интервалов группировки, и ординатами, равными соответствующим частотам.

Задание:

1. Найти наибольшее и наименьшее значение выборки.
2. Определить размах выборки.
3. Построить вариационный ряд.
4. Построить график нормированной гистограммы.

5. Построить полигон частот.
6. Повторить вычисления для значений $\text{bin1}=0,5\text{bin}$, $\text{bin2}=2\text{bin}$, $\text{bin3}=10\text{bin}$.
7. Необходимые данные взять из таблицы 6.
8. Проанализировать, записать вывод.

Порядок выполнения работы.

1. Открыть сеанс работы в сети.
2. Загрузить MathCAD2001.
3. Оформить в режиме "создания текстового региона" название и цель работы.
4. Значение для определения вектора случайных величин взять из таблицы 6 согласно индивидуальному варианту.
5. Выполнить задание.
6. Оформить отчет.
7. Файл с отчетом записать на диск.

Варианты заданий.

Вектор исходных данных создается с помощью встроенной функции MathCAD $\text{norm}(N, \mu, \sigma)$, параметры которой для разных вариантов приведены в таблице 6:

Таблица 6

№ варианта	N	bin	μ	σ
1	1000	20	1	0.7
2	1000	30	0	1
3	1000	20	2	0.7
4	1000	10	-1	1
5	1000	30	2	2
6	500	25	1	2
7	500	20	-1	1
8	500	20	0	1
9	1500	50	-1	1
10	1500	50	1	0.7
11	1500	50	-1	0.7
12	800	20	-3	1
13	800	20	-2	0.7
14	800	20	2	0.7

Лабораторная работа №7

Введение в вейвлет-анализ

Цель работы: на практике познакомиться с основами непрерывного вейвлет-анализа, самостоятельно сформировав семейства вейвлетов 2-х основных типов, применяя в качестве инструмента приложение MathCAD.

Основные понятия и термины

В качестве "материнских" вейвлетов используются несколько десятков хорошо локализованных функций, порождающих путем растяжения и сдвига во времени целое семейство "дочерних" вейвлетов. Некоторые из них:

1. Вторая производная гауссова импульса - $V(x) = (x^2 - 1)e^{-0.5x^2}$,
2. Вейвлет Хаара - $X(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq x \leq 0.5 \\ -1 & \text{при } 0.5 < x \leq 1 \end{cases}$

Путем подстановки $x=(t-b)/a$ и введения множителя $(a^{-1/2})$ от исходного вейвлета переходят к базисному:

1. Для второй производной гауссова импульса (1-й тип) -
$$VA(a, b, t) := \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot V(x)$$
,

2. Для вейвлета Хаара -

$$XA(a, b, t) := \frac{1}{\sqrt{a}} \cdot X(x)$$

На основе базисного вейвлета изменением величин параметров a и b получают семейство вейвлетов. При этом за растяжение или сжатие (изменение формы короткой волны) отвечает коэффициент a , а за сдвиг волны по времени отвечает коэффициент b .

Задание:

1. построить семейства вейвлетов согласно индивидуальному заданию в таблице 7.

Порядок выполнения работы:

1. Открыть сеанс работы в сети.
2. Загрузить MathCAD2001.
3. Оформить в режиме "создания текстового региона" название и цель работы.
4. Значение параметров взять из таблицы 7 согласно индивидуальному варианту.
5. Построить объемный график при $a=\text{const}$, b и t пробегают заданные значения.
6. Построить объемный график при $b=\text{const}$, a и t пробегают заданные значения.

7. Построить объемный график при $t=\text{const}$, b и a пробегают заданные значения.
8. Фиксированные значения параметра (const) для каждого параметра выбрать самостоятельно.
9. Для изображения времени (t) взять не менее 40 точек.
10. Оформить отчет.
11. Файл с отчетом записать на диск.

Таблица 7

№ варианта	Тип исходного вейвлета	Исходное значение a	Шаг по a	Исходное значение b	Шаг по b
1	Хаара	1	4	0	5
2	вторая производная от гауссова импульса	1	1	0	5
3	вторая производная от гауссова импульса	0,3	0,2	0	3
4	Хаара	2	2	0	3
5	вторая производная от гауссова импульса	0,5	0,5	0	5
6	Хаара				
7	вторая производная от гауссова импульса	1,25	0,25	1	3
8	Хаара	1	3	1	7
9	вторая производная от гауссова импульса	1,5	0,5	0	2
10	Хаара	2	5	0	6
11	вторая производная от гауссова импульса	0,75	0,5	0	5
12	Хаара	3	7	1	3
13	вторая производная от	1,75	1	0	4

	гауссова импульса				
14	Хаара	5	10	0	5

Контрольные вопросы к лабораторным работам

Лабораторная работа №1

1. Как можно представить антенну?
2. От чего зависит характер сопротивления антенны?
3. Что такое резонанс? Когда он возникает?
4. Как определяется резонансная частота, добротность последовательного колебательного контура?
5. Как выглядит зависимость нормированного модуля комплексного сопротивления этой цепи от относительного значения частоты сигнала для разных значений добротности?
6. Как выглядит зависимость фазы комплексного сопротивления этой цепи от относительного значения частоты сигнала для разных значений добротности?

Лабораторная работа №2

1. Что такое входная цепь?
2. Каковы основные функции входной цепи?
3. Перечислите основные виды цепей связи?
4. Перечислите основные показатели качества входной цепи.
5. Как определяется резонансная частота, добротность параллельного колебательного контура?
6. Как выглядит зависимость нормированного модуля комплексного сопротивления этой цепи от относительного значения частоты сигнала для разных значений добротности?
7. Как выглядит зависимость фазы комплексного сопротивления этой цепи от относительного значения частоты сигнала для разных значений добротности?
8. На что подразделяется перестройка колебательного контура?
9. Как осуществляется плавная перестройка?
10. Каковы преимущества и недостатки КПЕ?
11. Каковы преимущества варакторной настройки?

Лабораторная работа №5

1. Как выглядит решение уравнения (3)?
2. Как определить время переходного процесса в цепи при резонансе?

Лабораторная работа №6

1. Чем описывается случайная величина?
2. В чем заключается первичная обработка выборочных данных?
3. Что такое вариационный ряд?
4. Что такое гистограмма?
5. Как влияет величина интервала группировки на вид гистограммы?
6. Что такое полигон частот?

Лабораторная работа №7

1. Запишите вид второй производной гауссова импульса.
2. Запишите вид вейвлета Хаара.
3. Как получить базисный вейвлет из второй производной гауссова импульса?
4. Как получить базисный вейвлет из вейвлета Хаара?

Литература

1. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС Под Г-52 ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина. - М.: ИПРЖР, 1998. - 400 с. : ил.
2. Головин О. В. Радиоприемные устройства: Учебник для техникумов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2002. - 384 с.: ил.
3. Гурьяшова Р. Н. Алгоритмы и технологии численного решения дифференциальных уравнений: Методическое пособие для студентов очного и заочного обучения всех специальностей - Н. Новгород: Издательство ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2004. - 56 с.
4. Гурьяшова Р. Н., Шеянов А. В. Информатика. Пакет MathCAD. Методическое пособие для студентов очного и заочного обучения всех специальностей - Н. Новгород: Издательство ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2005. - 56 с.
5. Дьяконов В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002. – 608 с.:ил.
6. Каганов В. И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для сред. Проф образования / Вильям Ильич Каганов. - М.: Издательский центр "Академия", 2003. - 224 с.
7. Каганов В. И. Радиотехнические цепи и сигналы (Компьютеризированный курс): Учебное пособие - М.:ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. - 432 с. (Высшее образование).
8. Кирьянов Д. В. Самоучитель MathCAD 2001. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 544 с.: ил.
9. Плис А. И., Сливина Н. А. MathCAD. Математический практикум для инженеров и экономистов: Учебное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 656 с.: ил.
10. Сайт радиолюбителей республики Коми. Russian Hamradio qrx.narod.ru
11. В. Т. Поляков. Радиолюбителям о технике прямого преобразования. М. 1990 г.
12. Рябов А. А. Курс лекций по "Радиорелейным и спутниковым системам передачи". [Http://ralex.h1.ru](http://ralex.h1.ru)
13. Шиллер, Йоган. Мобильные коммуникации.: Пер с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. - 384 с.: ил. - Парал тит англ.

Содержание

Введение	3
Принципы организации радиосвязи	3
Классификация радиочастот	5
Методы приема сигналов. Оптимальный прием аналоговых сигналов	6
Методы обработки сигналов	7
Цифровые сигналы	9
Цифровая обработка сигналов	10
Преимущества цифровой обработки радиосигнала	10
Структура цифрового приемника	11
Виды обработки сигналов	13
Методы анализа процессов, протекающих в РПУ	15
Вейвлеты	15
Общая характеристика и место вейвлетов	15
Вейвлеты как новое научное направление	16
Идея вейвлет-преобразования	16
Основы теории вейвлет-преобразований	18
Аппроксимирующая и детализирующая компоненты вейвлетов	19
Контрольные вопросы к теоретической части	21
Лабораторные работы	24
Лабораторная работа № 1	24
Лабораторная работа № 2	26
Лабораторная работа № 3	38
Лабораторная работа № 4	30
Лабораторная работа № 5	30
Лабораторная работа № 6	33
Лабораторная работа № 7	35
Контрольные вопросы к лабораторным работам	37
Литература	38

*Гаджиев Хаджимурат Магомедович
Гаджиева Солтанат Магомедовна
Челушкина Татьяна Алексеевна*

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Цифровая связь»
для студентов направления
подготовки магистров 11.04.01 «Радиотехника»,
магистерская программа «Системы и устройства передачи,
приема и обработки сигналов»

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Печать ризограф. Усл. п. л. 3,0.
Тираж 50 экз. Заказ №

**Отпечатано в ИПЦ ДГТУ.
367015, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70**