

*Факультет дистанционного  
обучения ТУСУР*

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ  
«Радиосвязь, радиовещание  
и телевидение»**

Учебное методическое пособие

ТОМСК – 2010

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР)**

**С.И. Богомолов**

**ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ  
«Радиосвязь, радиовещание  
и телевидение»**

**Учебное методическое пособие**

**2010**

Рецензент:

Зав. кафедрой ТОР ТУСУР, д.т.н., профессор А.В. Пуговкин

Корректор: Воронина М.А.

**Богомолов С.И.**

Введение в специальность «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»: Учебное методическое пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2010. – 33 с.

Учебно-методическое пособие содержит методические указания по курсу «Введение в специальность», а также краткий план проведения практических занятий.

Пособие ориентировано на закрепление теоретического материала, изложенного в учебном пособии по указанной дисциплине.

© Богомолов Сергей Ильич, 2010  
© Факультет дистанционного  
обучения ТУСУР, 2010

**СОДЕРЖАНИЕ**

1 ВВЕДЕНИЕ.....	4
2 ПРОГРАММА ЛЕКЦИОННОГО КУРСА .....	5
2.1 Введение.....	5
2.2 Из истории развития радиосвязи .....	5
2.3 Общие сведения о системах связи .....	5
2.4 Сигналы и помехи .....	5
2.5 Модуляция .....	5
2.6 Распространение радиоволн .....	5
2.7 Оборудование каналов связи.....	6
2.8 Радиорелейные и спутниковые системы связи.....	6
2.9 Основы телевидения .....	6
2.10 Системы подвижной радиосвязи .....	6
2.11 Международные и национальные организации в связи ...	6
3 ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ .....	7
<i>Занятие 1. Работа с книгой .....</i>	7
<i>Занятие 2. Общие сведения о системах связи.....</i>	11
<i>Занятие 3. Сигналы электрической связи .....</i>	15
<i>Занятие 4. Модуляция сигналов.....</i>	17
<i>Занятие 5. Распространение радиоволн .....</i>	20
<i>Занятие 6. Оборудование каналов связи .....</i>	22
<i>Занятие 7. Радиорелейные и спутниковые системы связи ....</i>	26
<i>Занятие 8. Основы телевидения.....</i>	29
ЛИТЕРАТУРА .....	33

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Введение в специальность» предназначена как для формирования первичных представлений о самой специальности «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», так и ознакомления с вопросами подготовки специалистов для этой отрасли. Дисциплина ориентирована на уяснение места и значения средств радиосвязи в области передачи информации, дает представление о различных компонентах систем радиосвязи и о процессах, протекающих в этих системах.

Усвоение материала данного курса поможет легче представить роль и место изучаемых впоследствии общетехнических и специальных дисциплин, необходимость изучения тех или иных разделов, логическую взаимосвязь между различными дисциплинами.

В данном пособии предложен краткий план практических занятий, выполнение которых способствует усвоению теоретического материала.

Кроме того, в приложении к учебному пособию приведен государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования, к которому рекомендуется возвращаться и после завершения изучения данного курса по мере изучения последующих специальных дисциплин. По мере продвижения к диплому Вы должны ощущать, что все в большей степени соответствует требованиям этого стандарта.

В процессе изучения дисциплины студенты выполняют 1 контрольную работу и сдают экзамен.

## **2 ПРОГРАММА ЛЕКЦИОННОГО КУРСА**

### **2.1 Введение**

Роль и место телекоммуникаций в современном мире.

### **2.2 Из истории развития радиосвязи**

Радио на начальном этапе. Становление радио. Из истории развития радиосвязи и радиовещания на Томской земле. Из истории ТУСУРа.

### **2.3 Общие сведения о системах связи**

Основные понятия и определения в области связи. Обобщенная структурная схема системы связи. Основные характеристики сигналов электросвязи. Каналы электрической связи. Общие сведения о сетях связи.

### **2.4 Сигналы и помехи**

Модели радиотехнических сигналов. Гармонический анализ и синтез сигналов. Первичные сигналы электросвязи. Помехи радиосвязи.

### **2.5 Модуляция**

Общие сведения о модуляции. Амплитудная модуляция. Частотная модуляция. Фазовая модуляция. Модулирование импульсных последовательностей.

### **2.6 Распространение радиоволн**

Общие сведения о радиоволнах. Физические характеристики среды распространения радиоволн. Особенности распространения радиоволн различных диапазонов.

## **2.7 Оборудование каналов связи**

Антенно-фидерные устройства. Радиоприемные устройства. Радиопередающие устройства.

## **2.8 Радиорелейные и спутниковые системы связи**

Радиорелейные системы связи. Спутниковые системы связи. Общие сведения. Основные характеристики спутниковых систем связи. Службы спутниковой связи.

## **2.9 Основы телевидения**

Физические основы передачи оптических изображений. Структурная схема системы передачи черно-белого изображения. Передача цветных изображений.

## **2.10 Системы подвижной радиосвязи**

Системы персонального радиовызова. Профессиональная подвижная радиосвязь. Системы сотовой подвижной связи. Системы беспроводных телефонов.

## **2.11 Международные и национальные организации в связи**

Организации стандартизации в связи. Общие сведения о связи в Российской Федерации. Стандартизация высшего профессионального образования в РФ.

### 3 ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

#### Занятие 1. Работа с книгой

**Подготовка к занятию.** В процессе обучения в вузе студент перерабатывает и осваивает большие объемы информации по различным областям знаний. Одним из источников этих знаний с древних пор является книга. Вузовская библиотека является хранилищем профессиональных знаний по различным отраслям науки и техники, обеспечивающим формирование грамотного и разностороннего специалиста. Нередко библиотеку называют первой лабораторией вуза.

Для того, чтобы можно было ориентироваться в многообразии учебников, справочников, энциклопедий, нормативных документов и т.д., фонды библиотек структурируют по различным критериям. В частности, фонды библиотеки ТУСУР разделены на абонементы и читальные залы. На учебном абонементе, научном абонементе, абонементе художественной литературы учебную, научную и художественную литературу можно получить на довольно продолжительный срок и пользоваться ей вне пределов библиотеки. Фондами читальных залов можно пользоваться только в читальных залах (сюда же относятся и редкие экземпляры, справочные издания и т.д.). Имеются также специальные залы периодических изданий и залы каталогов и справочно-библиографической информации. Для поиска нужного источника используются различные системы упорядоченного расположения печатных изданий по классам, подклассам и т.д.

Систематический перечень предметов, подобранных по определенному признаку, называется *каталогом* (т.е. каталог – это список предметов, составленный в порядке, облегчающем их поиск). В библиотеке ТУСУРа представлены два вида каталогов: систематический и алфавитный. В систематическом каталоге опубликованные работы сгруппированы по отделам различных отраслей знаний. В алфавитном каталоге произведения печати расположены в алфавитном порядке по заголовкам. Алфавитным каталогом удобно пользоваться, если известны точное название произведения или его авторы. Следует лишь заметить,

что порядок расположения авторов-однофамильцев определяется их именами.

Систематический каталог группирует опубликованные работы по отраслям знаний в соответствии с универсальной десятичной классификацией (УДК). УДК построена по иерархическому принципу, и на каждом уровне иерархии происходит разбиение класса понятий данного уровня на подклассы, в каждом из которых понятия объединены общими признаками. Разделам каждого уровня присваиваются индексы от 0 до 9; при переходе к подуровню добавляется цифра уточняющего подкласса понятий.

Так, самый верхний уровень УДК выглядит как:

0 Общий раздел. Организации. Документы и публикации

1 Этика и эстетика

2 Религия

3 Общественные науки

5 Естественные науки и математика

6 Техника (прикладные науки)

7 Искусство

8 Литература

9 География

Дальнейшее деление, например, раздела 5 УДК (Естественные науки и математика):

50 Общие вопросы математических и естественных наук

51 Математика

52 Астрономия. Астрофизика. Исследование космического пространства. Геодезия

53 Физика

54 Химия. Кристаллография. Минералогия

55 Геология. Геологические и геофизические науки

56 Палеонтология. Основы классификации. Подразделение

57 Биологические науки

58 Ботаника

59 Зоология

Следующий этап уточнения, например, раздела 52 УДК (Физика) выглядит в виде:

530 Основные теории (принципы) физики

531 Общая механика. Механика твердых тел

532 Гидромеханика

533 Механика газов. Аэродинамика. Физика плазмы

534 Механические колебания. Акустика

535 Оптика

536 Термодинамика

537 Электричество. Магнетизм. Электромагнетизм

538 Физика конденсированного состояния (жидкое и твердое состояния) (микроскопическое описание)

539 Строение материи

При дальнейшем уточнении понятий индекс УДК удлиняется. При количестве цифр в индексе, большем трех, их разбивают на тройки, разделенные точками.

В УДК одно и то же понятие или явление в зависимости от отрасли знаний и от основных рассматриваемых признаков может попадать в различные классы и подклассы.

Кроме того, поиск информации может выполняться с использованием ключевых слов. Все эти виды поиска реализованы в поисковой системе библиотеки ТУСУР, обратиться к которой можно из главной странички сайта ТУСУРа, либо непосредственно по адресу [www.lib.tusur.ru](http://www.lib.tusur.ru).

В процессе обучения студент выполняет различные виды работ с использованием разнообразных источников информации (рефераты, курсовые и дипломные проекты и т.д.). Для указания сведений об источниках информации служат библиографические ссылки. В ТУСУРе оформление библиографических ссылок выполняют согласно стандарту университета ОС ТУСУР 6.1-97. Этот стандарт рекомендует после цитирования источника информации по тексту указать в квадратных скобках номер этого источника. В конце работы составляется список использованной литературы, в котором приводится библиографическое описание использованных источников. Источники в списке нумеруются в порядке их первого упоминания по тексту. Возможна также нумерация используемых источников по алфавиту. Правила оформления библиографического описания приведены ниже.

*Библиографическое описание* выполняется по правилам, установленным ГОСТ 7.1-84, и содержит следующие составные части (области) библиографического описания, которые располагаются в следующей последовательности:

- **область заглавия и сведения об ответственности** – содержит заглавие документа и относящиеся к нему сведения; приводятся сведения о лицах [авторы, составители, редакторы, переводчики] и организациях, участвовавших в создании документа;

- **область издания** – содержит сведения о назначении, повторности издания, его характеристику;

- **область выходных данных** – включает сведения о месте издания, издательстве и годе издания;

- **область количественной характеристики** – включает сведения об объеме документа (количестве страниц) и иллюстрационном материале.

Для разграничения областей и элементов, составляющих области описания, используют единую систему условных разделительных знаков:

. - (**точка и тире**) предшествует каждой, кроме первой, области описания;

: (**двоеточие**) ставится перед сведениями, относящимися к заглавию и перед наименованием издательства;

/ (**косая черта**) предшествует сведениям об ответственности (авторы, составители, редакторы, переводчики и т.д.);

// (**две косые черты**) ставятся перед сведениями о документе (книге, журнале, сборнике, газете), составной частью которого является конкретный описываемый документ.

Примеры библиографического описания источников, используемых в работе над рефератом:

Однотомные издания:

Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.

Основы теории цепей: учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

Вано Э.Ф. Влияние электромагнитных полей на экранированные кабели / Пер. с англ. Г.М. Мосина; Под ред. Л.Д. Разумова. – М.: Связь, 1983. – 150 с.

Многотомные издания:

Савельев И.В. Курс общей физики: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Наука, 1982. – Т. 1–3.

Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 1 Механика. Молекулярная физика: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Наука. 1982. – 432 с.

Составная часть документа:

Андрющенко Б.И. Транзисторно-ламповый выходной каскад усилителя мощности // Радиолобитель. – 1992. – № 6. – С. 38.

Логинов Е.А. Проблемы систематики и классификации // Тез. докл. науч.-теорет. конф., 11 дек. 1978 г. Новосибирск, 1978. – С. 12–20.

**Задание 1.** Произвести поиск по фондам библиотеки ТУСУРа по фамилии автора печатного издания: Каратаева Н.А. (по алфавитному каталогу). По результатам поиска составить библиографическое описание (не более трех печатных работ – по выбору).

**Задание 2.** Произвести поиск по фондам библиотеки ТУСУРа по индексу УДК: 621.396.96 (по систематическому каталогу). По результатам поиска составить библиографическое описание (не более трех печатных работ – по выбору).

(При отсутствии возможности доступа к фондам библиотеки ТУСУРа выполнить задание, аналогичное вышеизложенному, в ближайшей библиотеке).

## **Занятие 2. Общие сведения о системах связи**

**Подготовка к занятию.** Изучите материал по учебному пособию [1], раздел 3. Особое внимание обратите на ключевые понятия раздела, выделенные по тексту. Рассмотрите классификацию сообщений электрической связи.

Разберитесь в обобщенной структурной схеме системы радиосвязи (напомним, что структурная схема устройства раскрывает основные функциональные узлы и взаимосвязи между этими узлами). Обратите внимание, что в зависимости от детализации анализа схема передачи сообщений может выглядеть как: источник сообщения – система связи – получатель сообщения, а может быть и представлена в более развернутом виде: источник сообщения – передающее устройство – линия связи с искажениями и помехами – приемное устройство – получатель сооб-

щения. Попробуйте на базе этого же рисунка составить еще более подробную схему передачи сообщений.

Рассмотрите основные характеристики сигналов электросвязи (более подробно мы ознакомимся с характеристиками сигналов на следующих занятиях). Разберитесь с основными классификационными признаками, по которым различаются сигналы.

Познакомьтесь с понятием: канал электрической связи. Обратите внимание, что в одной и той же системе связи могут быть разные точки входа и выхода разных каналов. Так, для структурной схемы системы связи, приведенной на рисунке 3.3 учебного пособия [1], объединенный (широкополосный) канал начинается в аппаратуре уплотнения (АУ), а заканчивается в устройстве разделения. В то же время индивидуальные каналы связи начинаются в аппаратуре преобразования сообщения в сигнал, а заканчиваются в аппаратуре преобразования сигнала в сообщения.

Рассмотрите разные варианты построения сетей электросвязи. В настоящее время львиную долю передачи информации обеспечивают именно сети связи. Многообразие построения сетей связи обусловлено различием их основных характеристик. В то же время, сети для передачи разных сообщений могут иметь схожие характеристики, что позволяет на современном этапе обеспечивать интеграцию услуг сетей связи.

**Задание 1.** Структурная схема системы связи, приведенная на рисунке 3.2 учебного пособия [1], обеспечивает передачу сообщений только в одну сторону (слева направо). Разработайте структурную схему устройства связи, которое обеспечивало бы передачу сообщений в обоих направлениях.

**Решение.** Для передачи сообщений в обратную сторону нужен такой же канал связи, не зависящий от первого. В самом общем случае, это может быть канал с такими же характеристиками. Постройте структурную схему двунаправленной системы связи самостоятельно. На схеме двунаправленной системы связи будут изображены два независимых канала, причем канал связи в обратном направлении будет симметричен относительно линии связи каналу связи в прямом направлении. Обратите внимание, что при передаче сообщения узел ПСС выполняет преобра-

зование сообщения в сигнал, тогда как при приеме узел ПСС обеспечивает преобразование сигнала в сообщение.

Однако на практике линия связи обычно бывает общим ресурсом для каналов, как в прямом направлении, так и в обратном. В этом случае структурная схема двунаправленной системы связи принимает вид, изображенный на рисунке 2.1.

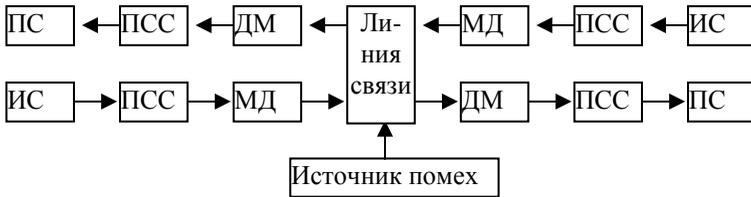


Рис. 2.1 – Структурная схема двунаправленной системы связи

**Задание 2.** Разработайте структурную схему устройства связи, которое обеспечивало бы передачу от двух независимых источников сообщений двум независимым пользователям в обоих направлениях.

**Решение.** Так как проектируемое устройство должно обеспечить передачу сигналов двух независимых источников в обоих направлениях, то за основу структурной схемы двухканальной двунаправленной системы связи принимаем схемы, приведенные на рисунке 3.2 [1], и схему, приведенную на рисунке 2.1 данного пособия. В результате структурная схема устройства, удовлетворяющего требованиям задания, будет иметь вид, приведенный на рисунке 2.2.

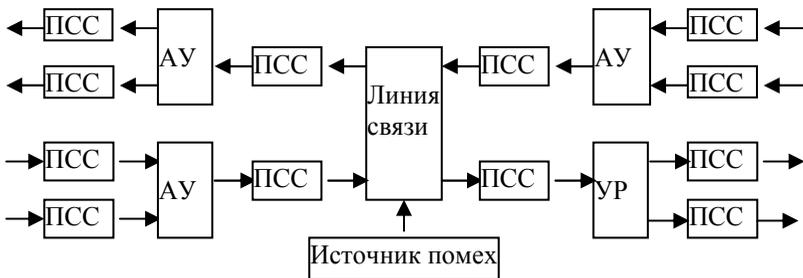


Рис. 2.2 – Структурная схема двунаправленной двухканальной системы связи

**Задание 3.** Пользуясь классификационными признаками для сигналов, приведенных в разделе 3.3, дать характеристики следующим сигналам:

$$а) s_1(t) = -U \sin(2\pi \cdot t/T_1),$$

где  $T_1$  – период гармонического сигнала;

$$б) s_2(t) = s_1(t) \cdot \text{rect}(t - kT_2),$$

где  $\text{rect}(t - kT_2)$  – функция, описывающая периодическую последовательность прямоугольных импульсов, принимающая единичное значение на интервалах времени  $kT_2 < t < kT_2 + \tau$ , и равная нулю на всех остальных интервалах

$$\text{rekt}(t - kT_2) = \begin{cases} 1, & \text{при } kT_2 \leq t \leq kT_2 + \tau; \\ 0, & \text{при } kT_2 + \tau < t < (k+1)T_2, \end{cases}$$

где  $k$  – любое целое число от  $-\infty$  до  $+\infty$ ;  $T_2$  – период повторения импульсной последовательности.

Сигналы классифицировать по следующим признакам: непрерывный или дискретный, аналоговый или квантованный, детерминированный или случайный. Графическое изображение сигналов а) и б) приведены на рисунках, соответственно, 5.7,б и 5.7,в [1].

**Решение.** Сигнал а) существует в любой момент времени, т.е. область существования сигнала – вся числовая ось от  $-\infty$  до  $+\infty$ ; следовательно, этот сигнал непрерывен по времени. Этот сигнал принимает бесконечное множество значений от  $-U$  до  $+U$ ; следовательно, этот сигнал непрерывен по уровню, или говорят, что это аналоговый сигнал. Сигнал имеет математическое описание, по которому можно определить значение сигнала в любой момент времени, таким образом, данный сигнал относится к детерминированным.

Сигнал б) существует (проявляет себя) только в определенных интервалы времени, т.е. область существования сигнала – прерывистая; следовательно, этот сигнал относится к дискретным. Этот сигнал также принимает бесконечное множество значений от  $-U$  до  $+U$ ; следовательно, этот сигнал непрерывен по уровню, или говорят, что это аналоговый сигнал. Наконец, по математическому описанию сигнала можно определить его значение в любой момент времени, т.е. данный сигнал также относится к детерминированным.

### Занятие 3. Сигналы электрической связи

**Подготовка к занятию.** Изучите материал по учебному пособию [1], раздел 4, а также вспомните материал подраздела 3.3.

Рассмотрите идеализированные модели сигналов, которые используют для анализа прохождения сигналов через различные цепи: функция включения, дельта-функция, гармоническая функция. Каждая из моделей имеет свои достоинства и наиболее предпочтительные области применения.

Познакомьтесь с первичными сигналами электросвязи и их основными характеристиками. На основании характеристик передаваемых сигналов предъявляются требования к параметрам системы связи.

Раздел завершается описанием некоторых помех сеансом радиосвязи. Несмотря на то, что большинство помех является в принципе неустранимым явлением, все же знание основных характеристик помех позволяет во многих случаях свести к минимуму их паразитное влияние.

**Задание 1.** При помощи обобщенных функций дать описание модели сигнала прямоугольной формы с амплитудой, равной 3 В, на интервале времени от 1 с до 5 с, и амплитудой, равной нулю во все остальные моменты времени.

**Решение.** Импульс прямоугольной формы может быть сформирован с помощью двух функций включения, с использованием приема, проиллюстрированного на рисунке 4.3 [1]. В соответствии с заданием функция, описывающая начало формируемого импульса, может быть записана в виде:

$$s_1(t) = 3 \sigma(t - 1).$$

Функция включения, описывающая окончание формируемого импульса, имеет вид:

$$s_2(t) = -3 \sigma(t - 5).$$

Полное описание импульсного сигнала прямоугольной формы принимает окончательную форму:

$$s_3(t) = s_1(t) - s_2(t) = 3 \sigma(t - 1) - 3 \sigma(t - 5).$$

Графическое представление этого сигнала и его составляющих приведено на рисунке 4.3. пособия [1].

**Задание 2.** Дать описание модели периодического сигнала с периодом повторения, равным 10 с, имеющего на интервале времени от нуля до 10 с точно такой же вид, как и сигнал из предыдущего задания на таком же самом интервале времени.

**Решение.** Для периодического сигнала с периодом, равным  $T$ , справедливо соотношение:

$$s(t) = s(t+kT),$$

где  $k$  – любое целое число на бесконечном интервале.

Таким образом, на интервале  $kT < t < (k+1)T$  сигнал может быть описан выражением вида:

$$s_4(t) = s_3(t-kT) = 3 \sigma(t-kT-1) - 3 \sigma(t-kT-5).$$

Заметим, что при  $k = 0$  это выражение повторяет описание  $s_3(t)$ .

В свою очередь, на бесконечном интервале времени требуемый периодический сигнал  $s_5(t)$  представляет собой бесконечную сумму частных сигналов, каждый из которых существует только в течение  $k$ -того периода, взятых по всем значениям  $k$ :

$$s_5(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_4(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_3(t-kT) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} 3[\sigma(t-kT-1) - \sigma(t-kT-5)].$$

**Задание 3.** Рассчитать, во сколько раз максимальная мощность сигналов звукового вещания превышает минимальную мощность этих же сигналов при передаче: речи диктора, симфонического оркестра.

**Решение.** Отношение максимального значения мощности сигналов к минимальному значению мощности этих же сигналов называется динамическим диапазоном сигналов и определяется по правилу:

$$D = 10 \lg (P_{\text{MAX}}/P_{\text{MIN}}) \text{ [дБ]},$$

где  $P_{\text{MAX}}$  и  $P_{\text{MIN}}$  – соответственно, максимальное и минимальное значения мощности исследуемого сигнала.

Динамический диапазон сигналов звукового вещания при передаче речи диктора достигает 35 дБ, при передаче сигналов симфонического оркестра – до 65 дБ [1].

Откуда превышение максимального значения мощности сигнала над минимальным значением составляет:

$$P_{\text{MAX}}/P_{\text{MIN}} = 10^{0,1 \cdot D}.$$

Откуда максимальное значение мощности сигналов звукового вещания при передаче речи диктора превышает минимальное значение мощности этого же сигнала в:

$$\frac{P_{MAX}}{P_{MIN}} = 10^{0,1 \cdot D} = 10^{0,135} = 10^{3,5} \approx 3,162 \cdot 10^3 \text{ раз.}$$

Соответственно, максимальное значение мощности сигналов звукового вещания при передаче симфонического оркестра превышает минимальное значение мощности этого сигнала в:

$$\frac{P_{MAX}}{P_{MIN}} = 10^{0,1 \cdot D} = 10^{0,165} = 10^{6,5} \approx 3,162 \cdot 10^6 \text{ раз.}$$

## **Занятие 4. Модуляция сигналов**

**Подготовка к занятию.** Изучите материал раздела 5 по учебному пособию [1].

Внимательно рассмотрите понятия: модулирующий сигнал, несущее колебание, модуляция, модулированный сигнал. Необходимость модуляции вызвана тем, что по разным причинам невыгодно, а иногда и невозможно передавать по линиям связи первичные сигналы. Разберитесь с особенностями различных видов модуляции.

На примере амплитудной модуляции рассмотрите основные процессы преобразования сигналов при модуляции. Простейший для анализа случай модуляции амплитуды гармонической несущей по гармоническому же закону позволяет с помощью несложного математического аппарата получить основные закономерности этого процесса и наметить пути анализа для более сложных случаев.

При анализе спектра сигналов не забывайте, что гармоническое колебание в пространстве координат «частота – амплитуда» изображается в виде отрезка, начинающегося от горизонтальной оси (ось частот) в точке, соответствующей частоте гармонического колебания. Высота этого отрезка пропорциональна амплитуде гармонического колебания (параллельно оси амплитуд).

Другие виды модуляции требуют для анализа более сложный математический аппарат и детальнее будут рассмотрены в

соответствующих курсах. На данный момент достаточно иметь общее представление о видах модуляции и их различиях.

**Задание 1.** Рассчитать процентное содержание (по мощности) несущего колебания и боковых составляющих в амплитудно-модулированном сигнале при модуляции амплитуды гармонической несущей по гармоническому закону с коэффициентом амплитудной модуляции, равным 0,3.

**Решение.** Амплитудно-модулированное колебание при модуляции гармоническим сигналом имеет вид:

$$u_{AM}(t) = U_0 [1 + M_A \cos \Omega t] \cos \omega_0 t = U_0 \cos \omega_0 t + (U_0 M_A / 2) \cos(\omega_0 - \Omega)t + (U_0 M_A / 2) \cos(\omega_0 + \Omega)t,$$

где  $U_0$  – амплитуда несущего колебания в отсутствии сообщения (немодулированное колебание);

$M_A$  – коэффициент (глубина) амплитудной модуляции;

$\omega_0$  – частота несущего колебания;

$\Omega$  – частота модулирующего гармонического сигнала.

Таким образом, амплитуда несущего колебания равна  $U_0$ , амплитуда боковых составляющих равна  $U_0 M_A$ ; откуда мощность несущего колебания на нагрузке, сопротивление которой равно  $R$ , равно  $P_H = (U_0)^2 / 2R$ , мощность каждой из боковых составляющих равна  $P_B = (U_0 M_A / 2)^2 / 2R$ . Результирующая мощность амплитудно-модулированного колебания равна сумме мощностей всех трех составляющих:

$$P_\Sigma = P_H + 2P_B = (U_0)^2 / 2R + 2 (U_0 M_A / 2)^2 / 2R = [(U_0)^2 / 2R] \cdot [1 + (M_A)^2 / 2].$$

Если мощность этого сигнала принять за 100%, то долю несущего колебания можно обозначить за  $X\%$ , причем эти величины связаны соотношением:

$$\frac{X}{100} = \frac{(U_0)^2 / 2R}{[(U_0)^2 / 2R] \cdot [1 + (M_A)^2 / 2]} = \frac{1}{1 + (M_A)^2 / 2}.$$

При заданном коэффициенте амплитудной модуляции  $M_A$ , равном 0,3, доля несущего колебания составляет:

$$X = \frac{1}{1 + (M_A)^2 / 2} 100\% = \frac{1}{1 + 0,3^2 / 2} 100\% \approx 95,7\%.$$

Долю мощности боковых составляющих обозначим за  $Y\%$ , и эта доля может быть определена из соотношения:

$$\frac{Y}{100} = \frac{[(U_0)^2/2R] \cdot [(M_A)^2/2]}{[(U_0)^2/2R] \cdot [1 + (M_A)^2/2]} = \frac{(M_A)^2/2}{1 + (M_A)^2/2}.$$

Откуда:

$$Y = \frac{(M_A)^2/2}{1 + (M_A)^2/2} 100\% = \frac{0,3^2/2}{1 + 0,3^2/2} 100\% \approx 4,3\%.$$

Из анализа результатов этого задания следует, что при амплитудной модуляции львиная доля энергии приходится на несущее колебание. Так, при тональной амплитудной модуляции с коэффициентом модуляции, равным 0,3, на долю несущей приходится почти 96% мощности излученного сигнала, тогда как полезную информацию (сообщение) переносит чуть более 4% суммарной мощности передаваемого сигнала.

**Задание 2.** Определить коэффициент амплитудной модуляции для сигнала, изображенного на рисунке 5.1,д пособия [1]. Рассчитать полную мощность амплитудно-модулированного сигнала, если мощность несущего колебания равна 1 Вт.

**Решение.** Для определения коэффициента амплитудной модуляции воспользуемся соотношением (5.6) пособия [1]:

$$M_A = (U_{MAX} - U_{MIN}) / (U_{MAX} + U_{MIN}).$$

где  $U_{MIN}$  и  $U_{MAX}$  – соответственно, величины минимального и максимального значений амплитуд модулированного колебания. Для вычисления коэффициента амплитудной модуляции по этой формуле важны не абсолютные значения минимальной и максимальной амплитуд, а их относительное различие. Поэтому измерим эти значения в относительных геометрических единицах непосредственно по рисунку 5.1,д. В результате измерений минимальной и максимальной амплитуд имеем:  $U_{MIN} = 5$  и  $U_{MAX} = 12$ . Откуда:

$$M_A = (U_{MAX} - U_{MIN}) / (U_{MAX} + U_{MIN}) = (12 - 5) / (12 + 5) \approx 0,368.$$

Поскольку  $U_{MAX} = U_0(1 + M_A)$ , а  $U_{MIN} = U_0(1 - M_A)$ , то

$$U_{MAX} + U_{MIN} = 2U_0 \text{ или } U_0 = (U_{MAX} + U_{MIN}) / 2.$$

Мощность несущего колебания на нагрузке, сопротивление которой равно  $R$ , определяется как

$$P_H = (U_0)^2 / 2R,$$

мощность каждой из боковых составляющих равна

$$P_B = (U_0 M_A/2)^2/2R.$$

Полная мощность амплитудно-модулированного колебания определяется суммой мощностей всех составляющих:

$$\begin{aligned} P_P &= P_H + 2P_B = (U_0)^2/2R + 2 (U_0 M_A/2)^2/2R = \\ &= [(U_0)^2/2R] \cdot [1 + (M_A)^2/2] = P_H \cdot [1 + (M_A)^2/2]. \end{aligned}$$

Подстановка числовых значений дает:

$$P_P = 1 \cdot [1 + 0,368^2/2] \approx 1,068 \text{ Вт.}$$

**Задание 3.** Определить величину максимального отклонения фазы при фазовой модуляции гармоническим сигналом, если известно, что спектр фазомодулированного сигнала составляют несущее колебание и две боковые составляющие, причем, амплитуда каждой боковой в 200 раз меньше амплитуды несущего колебания.

**Решение.** Спектр фазомодулированного сигнала при малом индексе модуляции имеет вид:

$$\begin{aligned} u_{\Phi M}(t) &= U_0 \cos \omega_0 t - (U_0 M_{\Phi M}/2) \cos(\omega_0 - \Omega)t + \\ &+ (U_0 M_{\Phi M}/2) \cos(\omega_0 + \Omega)t. \end{aligned}$$

Коэффициент фазовой модуляции определяем из соотношения амплитуд несущего колебания и боковых составляющих:

$$\frac{U_H}{U_B} = \frac{U_0}{U_0 M_{\Phi} / 2}.$$

Откуда:  $M_{\Phi} = (2 \cdot U_B / U_H) = 0,01$  [радиан]  $\approx 1,74^\circ$ .

## Занятие 5. Распространение радиоволн

**Подготовка к занятию.** Изучите материал раздела 6 по учебному пособию [1].

При подготовке к занятию уместно напомнить, что радиоволны – часть диапазона электромагнитных волн, подчиняющихся общим законам формирования и распространения электромагнитных колебаний. В то же время в условиях околоземного пространства распространение радиоволн имеет свои особенности, свойства этих волн в разных ситуациях проявляются по-разному.

Эти особенности в значительной степени определяются как длиной волны излучаемого колебания, так и физическими ха-

раактеристиками среды распространения радиоволн. Одна из существенных особенностей распространения радиоволн заключается том, что наличие атмосферы Земли приводит к отклонению направления распространения радиоволн от прямолинейного.

Ознакомьтесь с особенностями распространения радиоволн различных диапазонов.

**Задание 1.** Определить частоту электромагнитных колебаний, длина волны которых в свободном пространстве составляет 2 м.

**Решение.** Согласно выражению (6.1) пособия [1], длина волны  $\lambda$  электромагнитных колебаний в свободном пространстве связана с их частотой  $f$  соотношением

$$\lambda = c/f,$$

где  $c$  – скорость света в свободном пространстве.

Откуда частота колебаний в свободном пространстве равна  $f = c/\lambda = 3 \cdot 10^8 / 2 = 1,5 \cdot 10^8$  Гц = 150 МГц.

**Задание 2.** Определить мощность точечного источника излучений, создающего напряженность электрического поля, равную 10 мВ/м на расстоянии 3 км в пределах прямой видимости.

**Решение.** Воспользовавшись формулой 6.3 из пособия [1]:

$$E_T = \sqrt{30P_T / R},$$

где  $P_T$  – мощность точечного источника;  $E_T$  – напряженность электрического поля, создаваемая источником на расстоянии  $R$  от излучателя.

Откуда требуемая мощность источника должна быть не менее, чем

$$P_T = \frac{(E_T \cdot R)^2}{30} = \frac{(0,01 \cdot 3000)^2}{30} = 30 \text{ Вт}.$$

**Задание 3.** Определить максимальную дальность прямой радиовидимости на ультракоротких волнах, если передающая антенна поднята на высоту 180 м, а приемная антенна – на высоту 15 м.

**Решение.** Согласно выражению (6.4) пособия [1], максимальная дальность прямой радиовидимости определяется соотношением

$$D_B \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – высоты поднятия передающей и приемной антенн (в метрах);  $D_B$  – расстояние прямой радиовидимости между антеннами (в километрах).

Откуда максимально возможная дальность связи

$$D_B \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 3,57(\sqrt{180} + \sqrt{15}) \approx 87,3 \text{ км.}$$

## **Занятие 6. Оборудование каналов связи**

**Подготовка к занятию.** Изучите материал раздела 7 по учебному пособию [1].

Для построения любой системы радиосвязи потребуется три обязательных компонента: радиопередатчик, антенны и радиоприемник. Однако характеристики каждой из этих составляющих должны соответствовать выполняемым задачам, и это определяет многообразие систем связи.

Ознакомьтесь с конструктивными особенностями и основными характеристиками простейших типов антенн. Одной из важнейших характеристик антенн является ее направленность действия. Например, в вещании требуется равномерное распространение радиоволн во все стороны, а в радиорелейной связи желательно сконцентрировать излучаемую энергию в узкий пучок.

Рассмотрите основные схемы приемных устройств. Достоинством одних схем является их относительная простота. В то же время более сложные конструкции могут иметь лучшие технические характеристики и обладать дополнительными функциональными возможностями. Улучшение одних характеристик может сопровождаться ухудшением других. Так, техника супергетеродинного приема позволяет повысить чувствительность и избирательность приема (особенно при перестройке частоты приема), но в то же время супергетеродинный прием сопровождается дополнительными паразитными каналами приема (в том числе и зеркальные каналы), что должно быть учтено при проектировании систем.

Ознакомьтесь с некоторыми классификационными признаками радиоприемных устройств и основными характеристиками радиоприемников.

Разберитесь с обобщенной структурной схемой радиопередающего устройства и его основными функциональными узлами. Рассмотрите основные характеристики радиопередатчиков.

**Задание 1.** Полуволновой вибратор (схематично изображенный на рисунке 7.1,а пособия [1]) расположен вдоль оси  $Y$  декартовой системы координат симметрично начала координат (как изображено на рисунке 7.2 пособия [1]). Диаграмма направленности такой антенны напоминает две окружности, расположенные симметрично по разные стороны антенны и касающиеся друг с другом и с антенной в точке начала координат. Коэффициент направленного действия такой антенны по оси  $Y$  равен 2. Пусть к этой антенне подключен источник излучения мощностью  $P_T$ . Как изменится напряженность поля, создаваемого на расстоянии  $R$  от начала координат по оси  $X$  и по оси  $Y$ , если вместо этой антенны к тому же самому генератору подключить антенну, равномерно излучающую во всех направлениях.

**Решение.** Коэффициент направленного действия 2 означает, что в направлении главного излучения (в направлении оси  $Y$  на рисунке 7.1 пособия [1]) плотность потока мощности вдвое выше, чем при одинаковом его излучении во все стороны. Таким образом, при одинаковой мощности генератора напряженность поля в любой точке на оси  $X$  упадет в два раза при замене полуволнового вибратора на антенну, равномерно излучающую во все направления.

Напряженность поля для антенны с равномерным излучением будет одинаковой в любой точке, равноудаленной от начала координат, в том числе и на оси  $Y$ . Учитывая, что полуволновой вибратор в направлении оси  $Y$  не излучал никакого поля, то при замене полуволнового вибратора антенной, равномерно излучающей во всех направлениях, напряженность поля по оси  $Y$  формально увеличится в бесконечное количество раз.

Свойство антенны не чувствовать сигнал с определенного направления используется, например, в радиопеленгаторах.

**Задание 2.** Супергетеродинный приемник настроен на прием сигналов с частотой 1500 кГц. Определить частоты зеркального канала, если величина промежуточной частоты выбрана равной 465 кГц.

**Решение.** В супергетеродинном приемнике величины частот принимаемого сигнала  $f_c$ , местного гетеродина  $f_{\Gamma}$  и промежуточной частоты  $f_{\text{ПЧ}}$  связаны между собой соотношением

$$f_{\text{ПЧ}} = |f_c - f_{\Gamma}|.$$

Это соотношение выполняется при значениях частоты сигнала, как больших частоты гетеродина, так и меньших. Пусть частота принимаемого сигнала превышает частоту гетеродина на величину промежуточной частоты

$$f_{\text{ПЧ}} = f_c - f_{\Gamma}.$$

Это означает, что для приема сигналов с частотой 1500 кГц в супергетеродинном приемнике при промежуточной частоте 465 кГц частота гетеродина может быть выбрана равной

$$f_{\Gamma 1} = f_c - f_{\text{ПЧ}} = 1500 - 465 = 1035 \text{ кГц.}$$

Но при такой величине промежуточной частоты возможен еще один канал приема на частоте, удовлетворяющей условию

$$f_{\text{ПЧ}} = |f_{c1} - f_{\Gamma 1}|.$$

Для отрицательных величин  $f_{c1} - f_{\Gamma 1}$  это дает

$$f_{c1} = f_{\Gamma 1} - f_{\text{ПЧ}} = 1035 - 465 = 570 \text{ кГц.}$$

То есть, при приеме сигнала с частотой 1500 кГц и частоте гетеродина, равной 1035 кГц, зеркальный канал приема формируется на частоте 570 кГц.

Аналогично, при частоте гетеродина, превышающей частоту принимаемого сигнала на величину промежуточной частоты,

$$f_{\text{ПЧ}} = f_{\Gamma 2} - f_c.$$

Это соответствует приему сигналов с частотой 1500 кГц в супергетеродинном приемнике при выборе величины частоты гетеродина, равной

$$f_{\Gamma 2} = f_c + f_{\text{ПЧ}} = 1500 + 465 = 1965 \text{ кГц.}$$

В свою очередь, при такой величине промежуточной частоты возможен еще один канал приема на частоте, удовлетворяющей условию

$$f_{\text{ПЧ}} = |f_{\Gamma 2} - f_{c2}|.$$

Для отрицательных величин  $f_{\Gamma 2} - f_{c2}$  это дает

$$f_{c2} = f_{\Gamma 2} + f_{\text{ПЧ}} = 1965 + 465 = 2430 \text{ кГц.}$$

Аналогично, при приеме сигнала с частотой 1500 кГц и частоте гетеродина, равной 1965 кГц, зеркальный канал приема формируется на частоте 2430 кГц.

**Задание 3.** На рисунке 7.10 пособия [1] приведена схема приемопередатчика цифровой системы связи. Пусть от источника сообщений на вход передатчика поступает аналоговый сигнал, подобный изображенному на рисунке 3.4,а пособия [1]. В кодере передатчика выполняются операции дискретизации, квантования и кодирования (проиллюстрированные на рисунках 3.4,б – 3.4,г), и на выходе кодера формируется последовательность импульсов, поступающая на вход модулятора. Пусть, для определенности, на выходе кодера образуется код 10110100 в виде последовательности импульсов постоянной длительности с амплитудой, равной 1 В при значении кода, равным 1 (при значении кода, равном 0, импульс не формируется). Нарисовать приблизительно вид колебаний на выходе модулятора для разных видов модуляции: амплитудной, частотной и фазовой (модуляцию цифровыми сигналами также называют манипуляцией).

Для определенности можно полагать, что при амплитудной манипуляции значению кода «1» соответствует наличие несущего колебания, значению кода «0» соответствует отсутствие несущего колебания на выходе модулятора. Также можно условиться, что период несущего колебания составляет половину периода следования кодовых модулирующих импульсов.

Для частотной манипуляции можно полагать, что при коде «0» частота несущего колебания принимает значение, в 1,5 раза большее, чем значение частоты при коде «1».

Для фазовой манипуляции можно считать, что значение фазы несущего колебания при коде «1» отличается на  $\pi$  ( $180^\circ$ ) по сравнению с фазой несущего колебания при коде «0».

**Решение.** Сначала изобразим исходную кодовую последовательность. Последовательность импульсов, соответствующая коду 10110100, приведена на рисунке 2.3,а. Эта последовательность импульсов в качестве модулирующего напряжения поступает на модулятор передающего устройства и управляет одним из параметров несущего колебания: амплитудой, частотой или фазой.

С учетом вышеизложенных договоренностей сигналы на выходе модулятора цифровой системы связи при амплитудной, частотной или фазовой манипуляции приведены на рисунках, соответственно, 2.3,б – 2.3,г.

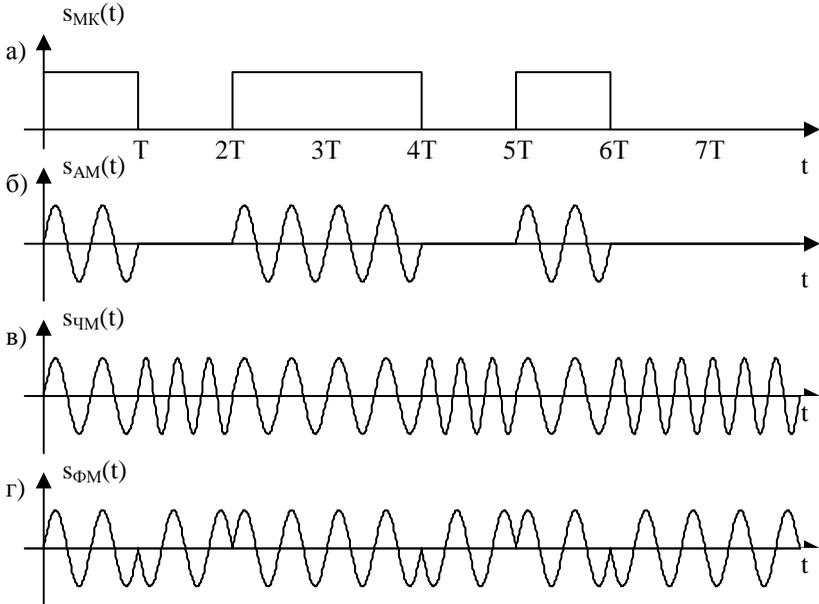


Рис. 2.3 – Модуляция несущего колебания цифровыми сигналами: а) кодовая последовательность на входе модулятора; б) амплитудная манипуляция; в) частотная манипуляция; г) фазовая манипуляция

## **Занятие 7. Радиорелейные и спутниковые системы связи**

**Подготовка к занятию.** Изучите материал раздела 8 по учебному пособию [1].

Для передачи больших потоков информации требуются большие полосы частот, которые легче обеспечить в диапазоне сверхвысоких частот. Но ультракороткие волны распространяются, в основном, в пределах прямой видимости, что вынуждает

разбивать трассу на более короткие участки с установкой на каждом участке промежуточных приемопередатчиков. Рассмотрите основные характеристики радиорелейных систем передачи.

Область обслуживания значительно расширяется при установке антенн ретранслятора на искусственный спутник Земли. Свойства такой системы связи в значительной степени определяются параметрами орбиты спутника. Ознакомьтесь с видами орбит и их основными характеристиками. Рассмотрите структурную схему спутниковой системы связи.

**Задание 1.** Рассчитать количество пролетов радиорелейной линии связи, конечные пункты которой удалены друг от друга на 220 км, если антенны ретранслятора подняты на высоту 50 м. Учитывая зигзагообразный профиль трассы, считаем, что общая длина радиоканала увеличивается на 10%.

**Решение.** Общая длина радиоканала  $R_{\Sigma}$  превышает расстояние  $R$  между оконечными пунктами на 10% и составляет  $R_{\Sigma} = R \cdot (100\% + 10\%) / 100\% = 220 \cdot (100 + 10) / 100 = 242$  км.

При высоте поднятия антенн 50 м длина одного пролета на расстоянии прямой видимости согласно выражению (6.4) пособия [1] составляет

$$D_B \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 3,57(\sqrt{50} + \sqrt{50}) \approx 50,5 \text{ км.}$$

Откуда количество пролетов радиорелейной линии связи должно быть не меньше, чем

$$N \geq R_{\Sigma} / D_B = 242 / 50,5 \approx 4,79.$$

Ближайшее целое число, превышающее  $N$ , равно 5. Таким образом, радиорелейная линия связи при заданных параметрах состоит из 5 пролетов.

**Задание 2.** Сравнить время задержки сигналов, распространяющихся между двумя пунктами, расположенными на экваторе, расстояние между которыми составляет 1000 км. Один сигнал распространяется с помощью наземного канала связи, второй с помощью спутникового ретранслятора, расположенного на геостационарной орбите. Задержками распространения сигнала в аппаратуре пренебречь. Для упрощения расчетов полагать, что спутник находится в зените над точкой, расположенной на середине пути между абонентами.

**Решение.** Скорость распространения радиоволн полагаем равной скорости света в свободном пространстве, тогда при распространении радиоволн по наземной трассе сигнал задержится на время, равное

$$t_1 = D/c = (1000 \text{ км}) / (300\,000 \text{ км/с}) \approx 3,33 \text{ мс},$$

где  $D$  – расстояние между наземными абонентами;  $c$  – скорость света в свободном пространстве.

Поскольку спутник «висит» над точкой, расположенной на полпути между абонентами, а высоту орбиты геостационарного спутника примем равной 36 000 км, тогда расстояние  $d$  от спутника до каждого из абонентов будет одинаковым и, пренебрегая кривизной поверхности Земли при небольших расстояниях между наземными абонентами, приблизительно составит:

$$d \approx \sqrt{h^2 + (D/2)^2} = \sqrt{36000^2 + (1000/2)^2} \approx 36010 \text{ км},$$

где  $h$  – высота орбиты ретранслятора (обозначения соответствуют рисунку 8.8 пособия [1] при относительно небольшой дуге  $AC$ , когда ее можно полагать отрезком прямой, касательным к окружности в точке  $C$ ).

Время задержки распространения сигнала между абонентами через спутниковый ретранслятор равен:

$$t_2 = 2d/c = 2 \cdot (36010 \text{ км}) / (300\,000 \text{ км/с}) \approx 240,07 \text{ мс}.$$

Откуда разность времени распространения сигнала составляет:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 240,07 - 3,33 = 236,74 \text{ мс}.$$

**Задание 3.** Определить максимальное расстояние между двумя наземными абонентами, обслуживаемыми одиночным спутником-ретранслятором, расположенных на орбите, с высотой, равной: а) 36000 км; б) 500 км.

**Решение.** Профиль трассы спутниковой системы связи приведем на рисунке 2.4. Расстояние между абонентами по дуге  $ACD$  радиуса  $R$  равно  $2 \cdot \alpha \cdot R$ , где  $\alpha$  – угол  $AOC$ , выраженный в радианах;  $R$  – радиус Земли.

В свою очередь, угол  $AOD$  состоит из одинаковых углов  $AOB$  и  $COD$ , входящих в прямоугольные треугольники  $ABO$  и  $OBD$  (так как расстояние между точками  $A$  и  $D$ , одновременно видимых со спутника  $B$ , будет максимальным в случае, если от-

резки  $BA$  и  $BD$  будут касательными к окружности). Угол  $AOB$  из треугольника  $AOB$  связан с его сторонами соотношением:

$$\cos \angle AOB = OA/OB = R/(R+h).$$

Откуда угол

$$\angle AOB = \alpha = \arccos[R/(R+h)]$$

$$\text{или } D_{\text{MAX}} = 2 \cdot R \cdot \arccos[R/(R+h)].$$

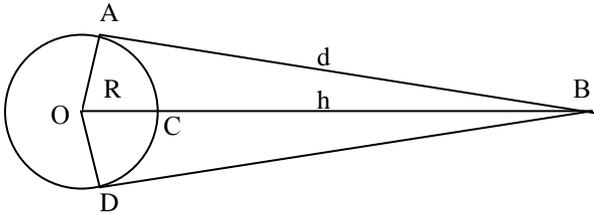


Рис. 2.4 – Профиль трассы спутниковой системы связи

Для  $h_1 = 36\,000$  км (геостационарная орбита) максимальное удаление абонентов равно

$$\text{или } D_{\text{MAX1}} = 2 \cdot 6400 \cdot \arccos[6400/(6400+36000)] \approx 18000 \text{ км.}$$

Для  $h_2 = 500$  км (низко высотная орбита) максимальное удаление абонентов с одним ретранслятором равно

$$\text{или } D_{\text{MAX2}} = 2 \cdot 6400 \cdot \arccos[6400/(6400+500)] \approx 4900 \text{ км.}$$

Следует заметить, что время сеанса с помощью стационарного спутника ретранслятора практически неограниченно, тогда как время сеанса связи низко высотного спутника определяется временем его пролета в рабочей зоне. Очевидно, что реальная зона совместной работы двух абонентов с помощью одного низко-высотного спутника-ретранслятора будет еще меньше.

## Занятие 8. Основы телевидения

**Подготовка к занятию.** Изучите материал раздела 9 по учебному пособию [1].

Ознакомьтесь с физическими основами формирования, передачи и восприятия оптических изображений. Рассмотрите особенности формирования развертки изображения.

Изучите структурную схему передачи черно-белого изображения и особенности формирования телевизионного сигнала.

ла. Разберитесь с основными элементами полного телевизионного сигнала.

Рассмотрите особенности передачи цветных изображений и условия совместной работы систем передачи и приема черно-белого и цветного телевидения.

**Задание 1.** Отношение ширины экрана телевизионного приемника к его высоте составляет 4:3. Рекомендуемое расстояние  $R$  до экрана, обеспечивающее наилучшее восприятие оптического изображения, составляет  $6h$ , где  $h$  – высота экрана. Определить оптимальное расстояние до экрана, диагональ которого составляет 59 см.

**Решение.** Диагональ экрана  $d$  связана с его шириной  $l$  и высотой  $h$  соотношением:

$$d = \sqrt{h^2 + l^2} = \sqrt{h^2 + (kh)^2} = h\sqrt{1 + k^2},$$

где  $k$  – отношение  $l/h$ .

Откуда наилучшее расстояние до экрана составляет:

$$R = 6 \cdot h = 6 \cdot d / \sqrt{1 + k^2} = 6 \cdot 0,59 / \sqrt{1 + (4/3)^2} = 2,12 \text{ м.}$$

**Задание 2.** В стандарте вещательного телевидения установлены: частота строк – 625 на кадр при чересстрочной развертке; частота смены полукадров – 50 за секунду. Определить длительности прямого и обратного хода кадровой и строчной разверток, если время обратного хода строчной развертки составляет 18% от длительности строки, а время обратного хода кадровой развертки составляет 8% от длительности полукадра.

**Решение.** Период повторения кадровой развертки равен:

$$T_K = 1/f_{K/2} = 1/(50 \text{ 1/c}) = 0,02 \text{ с,}$$

где  $f_{K/2}$  – частота смены полукадров.

Длительность обратного хода кадровой развертки равна:

$$T_{OK} = T_K \cdot \delta T_K = 20 \cdot 0,08 = 1,6 \text{ мс,}$$

а длительность прямого хода кадровой развертки:

$$T_{ПК} = T_K \cdot (1 - \delta T_K) = 20 \cdot (1 - 0,08) = 19,4 \text{ мс,}$$

где  $\delta T_K$  – относительная длительность обратного хода кадровой развертки.

Период повторения строчной развертки равен:

$$T_C = 1/(f_K/N_C) = 1/(25 \text{ 1/c}) \cdot (625) = 64 \text{ мкс,}$$

где  $f_k$  – частота кадров;  $N_C$  – количество строк в кадре.

Длительность обратного хода строчной развертки равна:

$$T_{OC} = T_C \cdot \delta T_C = 64 \cdot 0,18 = 17,52 \text{ мкс},$$

а длительность прямого хода строчной развертки:

$$T_{ПС} = T_C \cdot (1 - \delta T_C) = 64 \cdot (1 - 0,18) = 52,48 \text{ мкс},$$

где  $\delta T_C$  – относительная длительность обратного хода строчной развертки.

**Задание 3.** Используя исходные сведения заданий 1 и 2 текущего занятия, рассчитать максимальное количество чередующихся белых и черных вертикальных полос, которое можно увидеть на экране телевизионного вещательного приемника. Рассчитать частоту следования сигналов «белых полос» и «черных полос» на интервале прямого хода строчной развертки. Вертикальный и горизонтальный размеры элемента разложения считать одинаковыми и равными толщине строки разложения.

Растр вещательного телевидения содержит 625 строк, то есть 625 элементов разложения по вертикали. По горизонтали растр содержит  $625 \cdot k$  элементов изображения, где  $k$  – отношение ширины экрана к его высоте. С учетом обратного хода строчной развертки на экране будут видны не  $625 \cdot k$  элементов разложения, а  $625 \cdot k \cdot (1 - \delta T_C)$ , где  $\delta T_C$  – относительная длительность обратного хода.

Откуда максимальное количество чередующихся белых и черных полос на экране равно:

$$N_B = N_C \cdot k \cdot (1 - \delta T_C) = 625 \cdot (4:3) \cdot (1 - 0,18) \approx 684,$$

где  $N_C$  – количество строк в кадре.

Таким образом, на экране будут видны 342 пары чередующихся белых и черных полос. Из результатов решения задания 2 текущего занятия известно, что время прямого хода строчной развертки равно 52,48 мкс. За это время будут переданы 342 периода сигнала изображения, формирующие на экране 342 пары чередующихся белых и черных полос. Период формирования одной пары черной и белой полос равен:

$$t_{П} = T_C / (N_B / 2) = 52,84 / 684 = 0,154 \text{ мкс}.$$

Откуда частота сигнала, формирующего данное изображение, равна:

$$f_{П} = 1/t_{П} = 1/(0,154 \text{ мкс}) = 6,47 \cdot 10^6 \text{ 1/с}.$$

Это означает, что максимальная скорость изменения сигнала телевизионного изображения составляет примерно 6,5 миллионов изменений в секунду. Канал связи должен быть спроектирован таким образом, чтобы обеспечить эту скорость изменения сигнала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов С.И. Введение в специальность «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2004. – 162 с.