

# 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

## 1.1. Целевое назначение курсовой работы

Целями курсовой работы являются:

закрепление общих теоретических знаний и принципов построения систем передачи информации (в частности, многоканальных), особенностей широкополосных систем, уяснение многообразия их применения, приобретение навыков расчета характеристик сигналов и параметров радиотехнических устройств, входящих в систему и обеспечивающих удовлетворение заданных технических требований по помехоустойчивости и помехозащищенности, по заданному среднему времени поиска, в том числе с учетом неопределенности по частоте за счет эффекта Доплера;

отработка навыков составления структурных схем системы передачи информации, системы синхронизации, структурных и функциональных схем устройств обработки и формирования сложных сигналов, устройств кодирования и генераторов ПСП;

уяснение принципа расчета корреляционных функций ПСП, приобретение навыков по составлению алгоритмов расчета на ЭВМ корреляционных функций, спектров ПСП, вычисления самих ПСП;

приобретение навыков по анализу и обобщению полученных результатов.

## 1.2. Тематика курсовых работ

Тематика курсовых работ связана с вопросами разработки широкополосных систем передачи информации. В табл. 1 указаны темы курсовых работ и номера вариантов по каждой теме.

Таблица 1

## Тематика курсовых работ по дисциплине

Номер п.п.	Наименование темы	Номер с. с заданием	Номера вариантов
1.	Многоканальные когерентные системы передачи информации с линейным кодовым уплотнением	6	1 – 10
2.	Многоканальные широкополосные системы связи с комбинационным уплотнением	10	1 - 15
3.	Многоканальные широкополосные системы связи с мажоритарным уплотнением	15	1 – 6
4.	Широкополосные системы связи с М-ичными ФМ сложными сигналами	19	1 – 8 1 – 6 1 – 4
5.	Система связи с подвижными объектами	28	1 – 4
6.	Широкополосные системы связи с использованием помехоустойчивого кодирования	31	1 – 16
7.	Поиск и синхронизация в широкополосных системах связи	35	1 – 15

### **1.3. Задания для курсовых работ**

По каждой теме разработаны задания с вариантами исходных данных. Задания включают следующие разделы: разработка структурной схемы системы связи, выбор сигналов и расчет его основных параметров, разработка структурных и функциональных схем устройств обработки или формирования сигналов, расчет помехоустойчивости, расчет на ЭВМ корреляционных функций (КФ), энергетических спектров сигналов или псевдослучайных последовательностей (ПСП),

В заданиях указано основное содержание работы. По каждой теме приводятся методические указания по выполнению заданий. В большинстве работ предлагается провести расчет на ЭВМ корреляционных функций ПСП. Алгоритм вычисления КФ двоичных ПСП приведен в приложении 3.

### **1.4. Выполнение курсовой работы, ее объем и защита**

Задания для курсовой работы содержат по 4 - 5 основных разделов, работа над которыми требует примерно одинаковых затрат времени. Выполнение задания рекомендуется проводить в порядке следования разделов, представляя

результаты работы в сроки, установленные графиком выполнения курсовой работы, представленным в табл. 2.

Оформление и защита курсовой работы производится в соответствии с разработанным в Воронежском государственном техническом университете стандартом предприятия СТТТ ВГТУ 001-98 «Курсовое проектирование: организация, порядок проведения, оформление расчётно-пояснительной записки и графической части». Этот стандарт студенты могут получить в библиотеке университета.

Кроме разделов, перечисленных в задании, курсовая работа должна содержать введение и заключение. Во введении обсуждается постановка задачи, приводятся теоретические

предпосылки для выполнения задания. В заключении проводится анализ полученных результатов и дается их обобщение.

Таблица 2

График выполнения курсовой работы

Номера недель		Наименование этапа	Процент выполнения курсовой работы
д/о	в/о		
1	1	Получение задания	0
3	3	Выполнение 1-го раздела	20
5	7	Выполнение 2-го раздела, введение	45
8	11	Выполнение 3-го раздела	70
10	14	Выполнение 4-го раздела (4-го и 5-го при пяти разделах)	90
11-12	15 - 16	Оформление КР, написание заключения	100
12-13	16-17	Защита КР	

### 1.5. Список обозначений

$P_2$  - вероятность ошибки в канале, вероятность искажения двоичного символа;

$P_M$  - вероятность искажения M-ичного символа;

V - скорость передачи символов от источника;

$P_n, P$  - пиковая и средняя мощности передатчика;

$f_0$  - несущая частота;

ПСП - псевдослучайная двоичная последовательность.

Виды ПСП: M - M-последовательность; ИГ, ПК - последовательности Голда и Касами; ПХ - последовательности характеристического типа, ГМВ - ГМВ-последовательности.

Тип устройств обработки: Корр - корреляционный, КФ - корреляционно-фильтровой; Вкорр - корреляционный с видеокоррелятором; СФ - согласованный фильтр; БПУА - многоканальный коррелятор на основе быстрого преобразования Уолша-Адамара,

$T_{ш}, K^{\circ}$  - эффективная шумовая температура приемника;

$V_r$  - радиальная скорость движения объектов;

$(P_c/P_{ш})_{вх}$  - отношение сигнал/шум по мощности на входе приемника;

ЦС - центральная станция;

КА - космический аппарат;

АС - абонентская станция;

ОС - орбитальная станция,

З - Земля,

С - спутник;

$D_{апр}, D_{апрм}$  - диаметр антенны передающей и приемной соответственно;

$K$  - число уплотняемых источников;

$N_a$  - число абонентов в системе;

$N_{ао}$  - среднее число одновременно работающих абонентов;

$\rho_a$  - коэффициент активности абонентов,

$K_{п}$  - коэффициент помехозащищенности, показывает на сколько дБ (по мощности) помеха может превышать сигнал на входе приемника;

$M_{п}$  - алфавит источника информации;

ВКФ, АКФ - взаимно и автокорреляционная функция;

МИКФ - меандро-инвертированная КФ,

$r$  - дальность связи.

## 2. ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ, ЗАДАНИЯ И ВАРИАНТЫ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

### 2.1. Многоканальные когерентные системы передачи информации с линейным кодовым уплотнением

#### а. Общее описание системы

Многоканальная система передачи информации с линейным кодовым уплотнением предназначена для скрытной симплексной передачи цифровой информации от центральной станции (ЦС) к абонентской станции (АС) в пределах прямой видимости. Уплотняемые каналы синхронные. Синхронизация - идеальная. Число уплотняемых источников на ЦС -  $K$ . Скорость передачи информации для каждого источника -  $V$ . Приемник АС снабжен штыревой антенной. Варианты исходных данных приведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Варианты исходных данных

Но- мер	$f_0$ , МГц	$K$	$V$ , бод	$(P_c/P_{ш})_{вх}$	$P_2$	ПСП	Вид устройства обработки
1	300	5	150	$10^{-2}$	$10^{-4}$	М	Корр.
2	250	7	200	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	ПГ	СФ
3	150	10	1000	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	М	КФ
4	320	15	1200	$5 \cdot 10^{-4}$	$10^{-2}$	ПГ	ЦОС (БПФ)
5	120	3	1000	$10^{-4}$	$10^{-5}$	М	КФ
6	150	4	1200	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	М	ЦОС (БПФ)
7	200	5	1500	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-4}$	ПГ	Корр.
8	250	6	2400	$10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$	ПГ	СФ
9	100	10	120	$10^{-2}$	$10^{-6}$	М	ЦОС (БПУА)
10	180	12	100	$10^{-1}$	$10^{-5}$	ПГ	ЦОС (БПУА)

Таблица 4

## Варианты исходных данных

Номер	Дальность	Тип передающей антенны	Макс. рад. скор. АС	Устройство поиска
1-4	20км	Волновой канал		
5-10	25км	Спиральная	80 км/час	По частоте

## б. Задания по расчету системы

1. Разработка структурной схемы системы передачи информации

Составить и обосновать структурные схемы передающей и приемной частей многоканальной системы передачи информации. Выбрать и обосновать

промежуточную частоту приемника. Задать условия распространения радиоволн (тип местности) и высоты установки передающей и приемной антенн. Определить импульсную мощность передатчика.

Составить и обосновать структурную схему устройства поиска по частоте. Рассчитать время вхождения в синхронизм.

## 2. Выбор сигнала и расчет его параметров

Определить требуемое отношение с/ш на выходе каналов обработки приемника АС и базу сигналов (в расчетах действием внутрисистемной помехи пренебречь). Произвести выбор псевдослучайных последовательностей из заданного класса ПСП для передачи канальных сигналов. Привести структурную схему устройства формирования ПСП.

3. Оценка помехоустойчивости при внутрисистемных помехах

Рассчитать на ЭЦВМ аperiodическую автокорреляционную функцию одной ПСП и ее ВКФ с любой из остальных используемых последовательностей. Оценить влияние неортого-

нальности сигналов на помехоустойчивость связи. Рассчитать и построить кривые помехоустойчивости для одного из каналов приема только при действии собственных шумов приемника и с учетом действия внутрисистемных помех (от всех остальных каналов). Оценить влияние на помехоустойчивость неидеальности временной синхронизации.

4. Оценка помехоустойчивости приема при различных видах помех

Определить отношение сигнал/помеха на выходе каналов обработки для трех видов помех: сосредоточенной с равномерным спектром мощности, структурной и узкополосной (мощности помех на входе приемника принять в  $k$  раз больше мощности полезного сигнала:  $k = 2$  для вариантов 1 - 4,  $k = 3$  для вариантов 5 - 10).

Рассмотреть подробно вопросы ЭМС (привести допуски на нестабильность частоты передатчика, уровень внеполосных излучений и т.д.).

5. Сравнение линейного метода уплотнения с другими методами

в. Методические указания по выполнению заданий темы 2.1

Для выполнения задания рекомендуется литература /1 - 4, 6 - 7/. При определении импульсной мощности передатчика следует учесть, что в системах с линейным уплотнением каналов групповой сигнал представляет собой сумму промодулированных сигналов отдельных каналов. Поэтому его уровень не является постоянным. Для характеристики таких сигналов используется понятие пикфактора

$$П = \frac{U_{max}}{U_{cp}},$$

который определяется как отношение максимального уровня сигнала (по напряжению) к среднему (эффективному).

## 2.2. Многоканальные широкополосные системы связи с комбинационным уплотнением

### а. Общее описание системы

Многоканальная система связи с комбинационным уплотнением предназначена для симплексной передачи цифровой информации  $K$  синхронных источников, каждый из которых имеет скорость  $V$ , бод. Синхронизация в системе идеальная.

Варианты исходных данных приведены в табл. 5.

Таблица 5

Варианты исходных данных

Но- мер п. п.	Линия	$P_{п},$ Вт	$f_{о},$ МГц	$T_{ш},$ К°	$K$	$V,$ Бод	ПСП	Вид устр. обра- ботки	$P_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЦС-АС		70		3	500	М	Корр	$10^{-4}$
2	ЦС-АС		100		4	1000	М	КФ	$10^{-5}$
3	ЦС-АС		120		5	1200	ПГ	КФ	$10^{-5}$
4	ЦС-АС		150		6	2000	ПГ	СФ	$10^{-6}$
5	ЦС-АС		180		10	120	М	ЦОС (БПУА)	$10^{-3}$
6	КА-3	25		50	3	25	М	КФ	$10^{-4}$
7	КА-3	30		40	5	25	М	КФ	$10^{-5}$
8	КА-3	35		30	7	25	ПГ	Корр	$10^{-5}$
9	КА-3	35		12	10	45	ПГ	ЦОС (БПФ)	$10^{-4}$
10	КА-3	40		20	9	25	ПГ	ВКорр	$10^{-6}$
11	ОС-С	10	2115	550	7	1000	ПГ	КФ	$10^{-3}$
12	ОС-С	15	2115	600	5	2000	М	КФ	$10^{-4}$

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	ОС-С	20	2115	650	4	1500	М	ВКорр	$10^{-3}$
14	ОС-С	20	2115	400	6	1200	М	ЦОС (БПУА)	$10^{-5}$
15	ОС-С	25	2115	700	3	2400	ПГ	ВКорр	$10^{-3}$

б. Задания по расчету системы для вариантов 1 – 5

1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы передающей и приемной частей многоканальной системы связи. Выбрать и обосновать промежуточную частоту приемника. Задать условия распространения радиоволн (тип местности), высоты установки и параметры антенн (передающая диэлектрическая, приемная штыревая).

2. Выбор сигнала и расчет его параметров

Определить требуемое отношение с/ш на выходе каналов обработки приемника, базу групповых сигналов (при расчетах полагать сигналы ортогональными) и отношение с/ш на входе приемника. Произвести выбор псевдослучайных последовательностей из заданного класса ПСП для передачи групповых сигналов и с использованием ФМ сложных сигналов. Привести структурную схему устройства формирования ПСП. Рассчитать полосу частот, занимаемую системой, и максимальную дальность связи.

3. Оценка помехоустойчивости при внутрисистемных помехах

Рассчитать на ЭЦВМ апериодическую АКФ одной из используемых при передаче последовательностей и ее ВКФ с любой из других последовательностей. Полагая уровень ВКФ

с другими последовательностями, равный рассчитанному, оценить влияние внутрисистемной помехи на помехоустойчивость связи.

Рассчитать и построить кривую зависимость вероятности ошибки в каждом из каналов от отношения с/ш в расчете на один двоичный символ; для сравнения на том же графике привести кривую для случая одноканальной передачи.

Рассмотреть подробно вопросы ЭМС.

4. Сопоставление заданного метода уплотнения с другими известными методами уплотнения по занимаемой полосе частот, помехоустойчивости (мощности передатчика), сложности приемника, пикфактору группового сигнала

в. Задания по расчету системы для вариантов 6-10

1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы бортового передатчика и наземного приемника, полагая, что синхронизация по времени - идеальная. Рассчитать характеристики передающей и приемной антенн (тип антенн - параболический, диаметр передающей антенны – 3 м, приемной - 30, 40, 50, 60, 25 м, соответственно для вариантов задания (6, 7, 8, 9, 10).

2. Выбор сигнала и расчет его параметров

Определить требуемое отношение с/ш на выходе каналов обработки. Для формирования ФМ сложных сигналов, представляющих групповой сигнал, произвести выбор последовательностей, удовлетворяющих условию ортогональности, определить отношение с/ш на входе приемника, максимальную дальность связи и полосу частот, занимаемую системой.

Рассчитать на ЭЦВМ апериодическую АКФ одной из последовательностей выбранного ансамбля.

### 3. Оценка помехоустойчивости приема

Рассчитать и построить кривую зависимости вероятности ошибки в каждом из каналов от дальности связи в расчете на один двоичный символ; для сравнения на том же рисунке привести кривую для случая одноканальной передачи. Проанализировать влияние на помехоустойчивость связи наличия радиальной составляющей скорости у космического аппарата  $V$ , (диапазон изменения  $V$ , принять равным - 1, +4 км/с). Составить и обосновать структурную схему блока обработки наземного приемника для такого случая.

Рассмотреть подробно вопросы ЭМС.

4. Произвести сопоставление заданного метода уплотнения с другими известными методами уплотнения по занимаемой полосе частот, помехоустойчивости (мощности передатчика), сложности приемника и пикфактору группового сигнала.

### г. Задания по расчету системы для вариантов 11-15

#### 1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы бортовых передатчика и приемника объектов. Полагать при этом, что синхросигнал передается параллельно с информационным с использованием квадратурного фазового канала, а на объектах установлены параболические антенны с диаметром 1,2 м. Рассчитать характеристики антенн.

#### 2. Выбор сигналов и расчет их параметров

Определить требуемое отношение с/ш на выходе каналов обработки приемника. Предполагая использование ФМ сложных сигналов, произвести выбор последовательностей группового сигнала, отвечающих условию ортогональности, и син-

хронизирующей последовательности. Найти отношение с/ш на входе приемника, полосу частот, занимаемую системой, и максимальную дальность связи (синхронизацию полагать идеальной).

### 3. Оценка помехоустойчивости приема

Рассчитать и построить кривую зависимости вероятности ошибки в каждом из каналов от дальности связи в расчете на один двоичный символ при идеальной синхронизации, для сравнения на том же рисунке привести кривую для случая одноканальной передачи. Составить и обосновать структурную схему блока синхронизации по времени (блока поиска и слежения), рассчитать время вхождения в синхронизм, точность автосопровождения по времени и реальные значения вероятностей ошибки в каналах связи с учетом неидеальности синхронизации по времени.

Рассмотреть подробно вопросы ЭМС.

### 4. Сравнение заданного метода уплотнения с другими известными методами по занимаемой полосе частот, помехоустойчивости (мощности передатчика), сложности приемника и пикфактору группового сигнала

д. Методические указания по выполнению заданий темы 2.2

Для выполнения заданий рекомендуется литература /1, 2, 3 - 5, 7 - 8, 10 -11/.

При разработке схемы системы синхронизации (для вариантов 11-15) следует использовать метод передачи синхросигнала с помощью квадратурного фазового канала. Для его осуществления используются два несущих колебания, несущая для синхросигнала отличается от несущей для информа-

ционной последовательности сдвигом фазы на  $90^\circ$ . Для формирования синхросигнала используется синхропоследовательность, длительность которой обычно совпадает с длительностью информационной посылки. Синхро- и информационная последовательности манипулируют по фазе (на  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ) каждая свою несущую; полученные сигналы суммируются и подаются на усилитель мощности.

## **2.3. Многоканальные широкополосные системы связи с мажоритарным уплотнением**

### 2.3.1. Системы подвижной связи

#### а. Общее описание системы

Многоканальная когерентная система связи с мажоритарным кодовым уплотнением предназначена для скрытой симплексной передачи цифровой информации от ЦС к АС в пределах прямой видимости. Максимальная дальность 15 км. Приемная антенна на АС типа волновой канал, передающая антенна на ЦС - спиральная. Уплотняемые источники - синхронные. Используются ФМ сложные сигналы. Варианты исходных данных приведены в табл. 6.

#### б. Задания по расчету системы

##### 1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы передающей и приемной частей многоканальной системы, дать принципиальную схему мажоритарного блока, выбрать и обосновать промежуточную частоту приемника. Задать условия распространения радиоволн (тип местности) высоты установки передающей и приемной антенн. Рассчитать параметры антенны и импульсную мощность передатчика.

Таблица 6

## Варианты исходных данных

Но- мер	$f_0$ , МГц	K	V, бод	$(P_c/P_{ш})_{вх}$	$P_2$	ПСП	Вид устрой- ства обработ- ки
1	100	5	100	$10^{-3}$	$10^{-3}$	М	КФ
2	120	3	200	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2}$	М	СФ
3	150	7	400	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	ПГ	СФ
4	200	5	600	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	ПГ	Корр
5	166	7	70	$10^{-2}$	$10^{-4}$	М	ЦОС (БПУА)
6	700	9	120	$10^{-2}$	$10^{-5}$	ПГ	ЦОС (БПФ)

## 2. Выбор сигнала и расчет параметров

Произвести выбор псевдослучайных последовательностей для передачи канальных сигналов. Рассчитать на ЭЦВМ групповой сигнал и найти сигнал на выходе первого канала обработки. Рассчитать взаимно-корреляционную функцию группового сигнала и ПСП, используемой для 1-го канального сигнала. Сравнить ее с выходным сигналом первого канала обработки.

## 3. Оценка помехоустойчивости приема

Рассчитать и построить кривую помехоустойчивости приема при мажоритарном уплотнении и сравнить ее со случаем одноканальной системы.

Рассмотреть подробно вопросы ЭМС (привести допуски на нестабильность частоты передатчика, уровень внеполосных излучений и т.д.).

4. Произвести сопоставление заданного метода уплотнения с другими методами уплотнения

### 2.3.2. Система передачи телеметрической информации с космического аппарата на Землю

#### а. Общее описание системы

Многоканальная когерентная система связи с мажоритарным кодовым уплотнением предназначена для передачи цифровой телеметрической информации с космического аппарата на Землю. Используются линзовые антенны. Антенна, установленная на борту космического аппарата, имеет диаметр 1,5 м. Источники бортовой информации - синхронные, каждый имеет скорость 10 Бод. Диапазон значений радиальной скорости космического аппарата относительно наземного передатчика  $V_r = + 0,2, + 4$  км/с. Варианты исходных данных приведены в табл. 7.

Таблица 7

Варианты исходных данных

Но- мер	$P_n$ , Вт	Диаметр приемной антенны	K	$P_2$	ПСП	Тип устрой- ства обработ- ки
1	2	3	4	5	6	7
1	30	40	3	$10^{-4}$	ПГ	Корр
2	40	50	7	$2 \cdot 10^{-4}$	ПГ	СФ
3	50	60	6	$5 \cdot 10^{-4}$	М	КФ
4	60	70	9	$10^{-5}$	М	КФ
5	20	25	7	$10^{-3}$	М	ЦОС (БПУА)
6	10	20	5	$10^{-3}$	ПГ	ЦОС (БПФ)

#### б. Задания по расчету системы

##### 1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы бортового передатчика, наземного приемника, устройства обработки и

устройств поиска и слежения по частоте при условии, что синхронизация по времени идеальная. Выбрать и обосновать промежуточную частоту приемника, рассчитать характеристики передающей и приемной антенн.

## 2. Выбор сигнала и расчет его параметров

Произвести выбор канальных последовательностей, найти отношение с/ш на выходе каналов обработки и на входе приемника, максимальную дальность связи. Рассчитать на ЭЦВМ групповой сигнал и его взаимно корреляционную функцию с псевдослучайной последовательностью, используемой для 1-го канального сигнала. По ВКФ определить проигрыш по мощности по сравнению с одноканальной передачей. Рассмотреть подробно вопросы ЭМС.

## 3. Оценка работы системы синхронизации

Найти время вхождения системы в синхронизм по частоте, оценить точность сопровождения по частоте, динамическую ошибку.

4. Сравнение заданного метода уплотнения с другими известными методами уплотнения

в. Методические указания по выполнению заданий темы 2.3

Для выполнения заданий рекомендуется литература /3 - 10/, при задании условий распространения и расчете параметров антенн (в теме 2.3.1) рекомендуется пользоваться литературой /1,2/.

При выборе сигналов следует иметь к виду, что в качестве канальных сигналов можно использовать циклические сдвиги одной ПСП.

## 2.4. Широкополосные системы связи с М-ичными ФМ сложными сигналами

### 2.4.1 Цифровая система с заданным коэффициентом помехозащищенности

#### а. Общее описание системы

Система связи предназначена для передачи цифровой информации со скоростью  $V$  бит/с при вероятности ошибки  $P_2$  и коэффициенте помехозащищенности  $K_p$ . Для формирования ФМ сложного сигнала используется псевдослучайная последовательность (ПСП), вид которой задан в таблице вариантов. Система должна иметь максимальную пропускную способность, для чего рекомендуется использовать М-ичные сигналы. Синхронизация идеальная. Предусмотреть возможность перестройки приемника на различные ПСП. Варианты исходных данных приведены в табл. 8.

Таблица 8

Варианты исходных данных

Но-мер	$K_p$ , дБ	$P_2$	$V$ , бит/с	ПСП	Тип устр. обработки	Канал	Расч. на ЭВМ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	13	$10^{-6}$	100	М	БПУА	С пост. параметром	ВКФ
2	6	$10^{-6}$	1200	ПГ	СФ	С пост. параметром	Структура ПСП
3	8	$10^{-3}$	200	М	СФ	С пост. параметром	ВКФ
4	17	$10^{-3}$	2400	ПГ	БПУА	С пост. параметром	Структура ПСП

Продолжение табл. 8

1	2	3	4	5	6	7	8
5	20	$10^{-3}$	480	М	СФ	Со сл. фазой	Структура ПСП
6	18	$10^{-4}$	120	ПГ	БПУА	Со сл. фазой	Формир. ПСП
7	28	$10^{-6}$	240	М	СФ	Со сл. фазой	Формир. ПСП
8	11	$10^{-4}$	4800	ПГ	БПУА	Со сл. фазой	Структура ПСП

### б. Задания по расчету системы

#### 1. Расчет основных параметров сигнала

Определить базу сигнала, выбрать ПСП. Определить тактовую частоту, ширину спектра сигнала, затраты полосы частот на передачу 1 бита информации (удельные затраты полосы частот).

#### 2. Разработка устройства формирования сложного сигнала

Нарисовать структурную схему устройства формирования ПСП, представить эпюры напряжений, поясняющие ее работу. Нарисовать структурную схему модулятора, представить эпюры напряжений сигналов в основных ее точках.

#### 3. Разработка устройства обработки сложного сигнала

Описать алгоритм работы устройства обработки сигналов (тип устройства задан в таблице вариантов). Нарисовать структурную схему демодулятора.

#### 4. Разработка структурной схемы системы связи

Разработать структурную схему системы связи, начертить ее, привести описание ее работы.

#### 5. Расчет на ЭВМ (задание указано в таблице вариантов)

Разработать алгоритм расчета на ЭВМ, составить программу, отладить ее и провести расчеты.

Привести результаты расчета и сделать выводы по ним.

### 2.4.2. Система передачи сигналов управления с наземной станции на космический аппарат

#### а. Общее описание системы

Когерентная система связи предназначена для скрытной передачи М-ичных цифровых ФМ сигналов управления со скоростью 10 Бод с наземной станции на космический аппарат, на котором установлена параболическая антенна диаметром 2 м. Варианты исходных данных представлены в табл. 9.

Таблица 9

Варианты исходных данных

Но- мер	$P_n$ , Вт	Диаметр перед. антен- ны, м	$T_{ш}$ , К°	$P_m$	Алф. ис- точн. ин- форм.	$(P_c/P_{ш})_{вх}$	ПСП	Тип устр. обр.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	25	600	$10^{-4}$	4	$10^{-2}$	ПГ	КФ
2	6	20	400	$10^{-5}$	5	$10^{-2}$	ПГ	ЦОС (БПФ)
3	2	30	700	$3 \cdot 10^{-5}$	4	$10^{-3}$	ПГ	КФ
4	4	35	800		3	$10^{-2}$	М	СФ

Продолжение табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	10	40	900	$5 \cdot 10^{-4}$	4	$10^{-3}$	М	СФ
6	8	12	300	$10^{-4}$	5	$10^{-3}$	М	ЦОС (БПУА)

### б. Задания по расчету системы

#### 1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы наземного передатчика и приемника. Рассчитать характеристики передающей и приемной антенн, максимальную дальность связи.

#### 2. Выбор сигнала и расчет его параметров

Определить требуемое значение базы передаваемого сигнала, выбрать сигналы из заданного класса, определить полосу частот, занимаемую системой. Привести принципиальную схему устройства формирования сигналов.

Рассчитать на ЭЦВМ апериодическую АКФ одного из сигналов выбранного ансамбля; вычислить расстояние между отдельными сигналами.

#### 3. Оценка помехоустойчивости связи

Рассчитать и построить кривую зависимости вероятности ошибочного приема  $M$ -ичных и противоположных сигналов от отношения  $c/\text{ш}$  и произвести их сопоставление.

4. Оценка ЭМС (привести допуски на стабильность частоты передатчика, уровень внеполосных излучений и т.д.).

### 2.4.3. Система передачи телеметрической информации на орбитальную станцию

#### а. Общее описание системы

Некогерентная система связи предназначена для передачи М-ичных цифровых сигналов телеметрической информации со спутника на орбитальную станцию. Несущая частота 2110 МГц. Параболические антенны имеют диаметр 1,3 м. Скорость передачи телеметрической информации 1000 Бод. Диапазон относительной радиальной скорости объектов  $V_r = - 0,5, + 3$  км/с. Варианты исходных данных приведены в табл. 10.

Таблица 10

Варианты исходных данных

Но-мер	$P_n$ , Вт	$T_{ш}$ , К°	Алфавит источн.	$P_m$	ПСП	Тип устройства обработки
1	20	600	4	$10^{-3}$	М	СФ
2	30	650	3	$10^{-4}$	М	СФ
3	40	700	16	$5 \cdot 10^{-4}$	ПГ	КФ
4	60	300	32	$5 \cdot 10^{-5}$	ПГ	КФ

#### б. Задания по расчету системы

##### 1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы бортовых передатчика, приемника, устройства поиска синхросигнала по времени и слежения по частоте, полагая, что синхросигнал передается параллельно с информационным с использованием квадратурного фазового канала. Рассчитать характеристики антенн.

Полагая синхронизацию идеальной, определить максимальную дальность связи. Рассчитать минимальную и максимальную частоты принимаемого сигнала для заданных значений относительных скоростей движения объектов.

## 2. Выбор сигнала и его параметров

Произвести выбор информационных кодовых последовательностей, отвечающих требованию ортогональности; выбрать синхронизирующую кодовую последовательность и рассчитать ее периодическую и аperiodическую АКФ.

## 3. Оценка помехоустойчивости приема

Для выбранной схемы поиска синхросигнала по времени определить время вхождения в синхронизм и рассчитать реальные значения вероятности ошибочного приема символов с учетом неидеальности синхронизации по времени.

## 4. Оценка ЭМС

### 2.4.4. Система передачи телеметрической информации с космического аппарата на Землю

#### а. Общее описание системы

Многоканальная некогерентная система связи с линейным кодовым уплотнением М-ичных сигналов предназначена для передачи цифровой телеметрической информации с космического аппарата на Землю. Алфавит источников равен 4, символы каждого источника выдаются со скоростью 50 Бод. На космическом аппарате установлена параболическая антенна диаметром 2 м. Вероятность ошибки при передаче  $p_m = 10^{-4}$ . Варианты исходных данных приведены в табл. 11.

Таблица 11

## Варианты исходных данных

Но мер	$P_n$ , Вт	Диаметр приемной антенны, м	$T_{ш}$ , К°	К	ПСП	Тип устройства обработки
1	20	20	20	4	ПГ	КФ
2	25	25	30	5	ПГ	КФ
3	30	30	40	6	М	СФ
4	35	35	50	7	М	СФ

## б. Задания по расчету системы

## 1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы бортового передатчика и наземного приемника; выбрать несущую частоту бортового передатчика. Рассчитать характеристики передающей и приемной антенн (приемная антенна также параболическая).

## 2. Выбор сигналов и его параметров

Исходя из требований ортогональности, определить базу канальных сигналов, рассчитать полосу частот, занимаемую системой; произвести выбор последовательностей группового сигнала, отвечающих требованию ортогональности. Рассчитать на ЭЦВМ апериодические АКФ последовательностей выбранного ансамбля, убедиться в их ортогональности в момент вынесения решения. Рассчитать максимальную дальность связи.

## 3. Оценка помехоустойчивости связи

Построить кривую зависимости вероятности ошибки в каждом из уплотняемых каналов от дальности связи.

#### 4. Оценка ЭМС

##### в. Методические указания по выполнению заданий темы 2.4

Для выполнения заданий рекомендуется литература /1 -5, 7 - 8, 10 – 12, 16/.

Расчет базы сигнала В по коэффициенту помехозащитности производится в соответствии с методикой, приведенной в приложении 1. Выбор ПСП сводится к определению ее длины и порождающих полиномов. Для М-последовательностей до длины 2047 порождающие полиномы приведены в /3/: при большей длине следует обратиться к /16/. Генераторы М-последовательностей описаны в /3/. Последовательности характеристического типа описаны в /20/. Алгоритмы цифровой обработки сигналов с использованием БПФ и БПУА приведены в /14/, а принцип построения перестраиваемого согласованного фильтра для М-последовательности - в приложении 2.

#### **2.5. Система связи с подвижными объектами**

##### а. Общее описание системы

В многоканальной когерентной системе связи осуществляется передача цифровой двоичной информации к ЦС от нескольких подвижных абонентов, рассредоточенных по определенной территории (минимальное расстояние равно 5 км). Передатчики АС работают на одной несущей частоте и используют фазоманипулированные ШПС. Скорость движения абонентов такова, что доплеровским смещением частоты передатчика можно пренебречь. На ЦС установлена антенна «волновой канал», в на АС – стержневая.

Варианты исходных данных приведены в табл. 12.

Таблица 12

Варианты исходных данных

Но- мер	$f_0$ , МГц	$r_{\max}$ , км	K	V, бод	$P_2$	ПСП	Вид устрой- ства обработ- ки
1	60	15	3	1500	$10^{-3}$	ПГ	КФ
2	70	17	5	1200	$5 \cdot 10^{-4}$	ПГ	Корр
3	80	20	7	1000	$10^{-4}$	М	СФ
4	100	23	9	600	$2 \cdot 10^{-4}$	М	СФ

## б. Задания по расчету системы

### 1. Разработка структурной схемы системы связи

Составить и обосновать структурные схемы передатчиков абонентских станции и приемной части ЦС. Задать условия распространения радиоволн (тип местности) и высоты установки передающей и приемной антенн; рассчитать их характеристики.

### 2. Выбор сигнала и его параметров

Рассчитать требуемое отношение с/ш (с учётом действия междуканальных помех) на выходе каждого канала обработки, определить базу абонентских сигналов в предположении, что уровень междуканальных помех должен быть ниже уровня собственных шумов приемника. Определить мощность передатчиков АС.

Произвести выбор последовательностей для передачи абонентских сигналов; рассчитать на ЭЦВМ периодическую АКФ сигнала первого абонента и ВКФ этого сигнала и суммы сигналов остальных абонентов в предположении, что первый

абонент находится на максимальном расстоянии от ЦС, а остальные - на минимальном.

### 3. Оценка помехоустойчивости приема

Рассчитать и построить кривые зависимости вероятности ошибки в каждом из каналов от отношения с/ш для случаев наилучшего и наихудшего взаимного расположения абонентов.

4. Оценка ЭМС (привести допуски на стабильность частоты передатчика, уровень внеполосных излучений и т.д.)

в. Методические указания по выполнению заданий к теме 2.5

Для выполнения заданий рекомендуется литература /1 - 7/.

Основным при выборе сигналов в системе является расчет их базы, которая обеспечивает заданное минимальное значение с/ш на выходе приемников ЦС. При этом надо иметь в виду, что наихудшим с точки зрения помехоустойчивости связи в определенном канале является случай, когда абонентский передатчик этого канала находится на наибольшем расстоянии от ЦС, а остальные передатчики - на наименьшем.

## **2.6. Широкополосные системы связи с использованием помехоустойчивого кодирования**

### а. Общее описание системы

Система связи предназначена для передачи двоичной цифровой информации со скоростью  $V$  бит/с при вероятности ошибки  $P_2$  и коэффициенте помехозащищенности  $K_p$ . В системе используются широкополосные ФМ сигналы, разделение каналов по форме сигналов (кодовое разделение). Число абонентов  $N_a$ . Абоненты работают асинхронно, связываются

по принципу «каждый с каждым». Для повышения помехоустойчивости используются помехоустойчивые коды Рида-Соломона (РС) или коды Боуза-Чоудхури (БЧХ). Варианты исходных данных приведены в табл. 13.

Таблица 13

Варианты исходных данных

Но- мер	$K_n$	$P_2$	$V$ , бит/с	$P_a$	$N_a$	Код (n, k, $p_n$ )	Тип ка- нала
1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	$10^{-5}$	1200	0,1	400	РС (63, 55, 4)	С пост. парам.
2	5	$10^{-5}$	1000	1	30	РС (32, 25,3)	С пост. парам.
3	10	$10^{-5}$	480	0,1	100	РС (15, 11, 2)	С пост. парам.
4	30	$10^{-5}$	20	0,01	1000	РС (7, 5,1)	С пост. парам.
5	20	$10^{-5}$	120	0,02	3000	РС (63, 53, 5)	Со случ. фаз.
6	21	$10^{-5}$	70	0,05	3000	РС (63, 53, 5)	Со случ. фаз.
7	10	$10^{-4}$	4800	1	10	БЧХ(15,7,2)	Со случ. фаз.
8	28	$10^{-6}$	240	0,8	20	БЧХ(15.11,1)	Со случ. фаз.
9	18	$10^{-7}$	120	0,01	2000	БЧХ(15,5,3)	Со случ. фаз.
10	20	$10^{-3}$	480	0,2	400	БЧХ(31,21,2)	Со случ. фаз
11	17	$10^{-3}$	2400	0,1	500	БЧХ (31,16,3)	Со случ. фаз.
12	8	$10^{-3}$	200	0,8	50	БЧХ(31,11,5)	Со случ. фаз.

Продолжение табл. 13

1	2	3	4	5	6	7	8
13	6	$10^{-6}$	1200	0,1	100	БЧХ (21,15,1)	Со случ.
14	13	$10^{-6}$	100	0,02	1000	БЧХ (21,12,2)	С пост. парам.
15	25	$10^{-3}$	120	0,01	3000	БЧХ (21, 6,3)	С пост. парам.
16	30	$10^{-3}$	1200	0,1	100	БЧХ (21, 4, 4)	С пост. парам.

Примечание. Коды заданы в виде  $(n, k, p_n)$ , где  $n$  - длина кодовой комбинации,  $k$  - число информационных символов в ней,  $p_n$  - кратность исправляемой ошибки.

#### б. Задания по расчету системы

1. Определение энергетических затрат для получения заданной вероятности ошибки  $P_2$  при применении заданного кода  $(n, k, p_n)$ .

Рассчитать эквивалентную вероятность ошибки, построить зависимость эквивалентной вероятности ошибки от  $h^2$ . Для заданной вероятности ошибки  $P_2$  определить значение  $h^2$ , выразить его в дБ по формуле

$$h^2 \text{ дБ} = 10 \lg h^2.$$

#### 2. Предварительный выбор ПСП

Оценить минимальное значение базы сигнала, учитывая среднее значение одновременно работающих абонентов (шумовой помехой пока можно пренебречь), а также заданное значение  $K_n$ . Выбрать ПСП из последовательностей Голда (ПГ) или последовательностей Косами (ПК).

3. Уточнение базы сигнала и расчет основных параметров сигнала

Провести расчет на ЭВМ взаимно корреляционной функции (ВКФ) выбранных ПСП. Оценить максимальный уровень выбросов ВКФ. Рассчитать коэффициент потерь за счет внутрисистемных помех. Уточнить значение базы сигнала с учетом энергетических затрат при декодировании, энергетических потерь за счет внутрисистемных помех, неидеальности синхронизации и аппаратных потерь. Определить тактовую частоту, ширину спектра сигнала.

4. Разработка кодирующего устройства кода  $(n, k, p_n)$

Определить порождающий полином заданного кода. Нарисовать структурную схему кодирующего устройства. Привести эпюры напряжений, поясняющие ее работу.

5. Разработка структурной схемы системы связи

Нарисовать структурную схему системы связи, описать ее работу. Оценить сложность ее реализации.

в. Методические указания по выполнению заданий по теме 2.6

Для выполнения заданий рекомендуется литература /3, 5, 12, 13, 15/.

Эквивалентную вероятность ошибки можно рассчитать по методике, представляемой в /12/.

Минимальное значение базы сигнала при внутрисистемных помехах определить при условии, что уровни мешающих сигналов одинаковые и равны уровню полезного сигнала. Методика решения этой задачи представлена в /3/. Методика определения коэффициента потерь и связь его с базой сигнала даны в приложении 1. Последовательности Голда и Касами

описаны в /3/. При разработке кодирующего устройства следует обратиться к /12/, где описана методика получения порождающего полинома для кодов БЧХ. Кодирующее устройство для кодов БЧХ строится как и для любых циклических кодов на основе регистра сдвига, охваченного обратной связью через сумматор по модулю два; это подробно описано в /15/. При кодах РС целесообразно использовать M-ичные сигналы, так как РС используют M-ичные символы.

## 2.7. Поиск и синхронизация в широкополосных системах передачи информации

### а. Общее описание системы

Система спутниковой связи, работающая на заданной несущей частоте  $f_0$  предназначена для передачи информации со скоростью  $V$  Бод с использованием широкополосных ФМ сигналов. Требуется обеспечить вероятность искажения символов не более  $10^{-3}$  (коэффициент помехозащищенности  $K_n$  при времени поиска, не превышающем  $T_{ш}$ ). Варианты исходных данных приведены в табл. 14.

Таблица 14

Варианты исходных данных

Номер	$K_n$ , дБ	$T_{ш}$ , К°	$V$ , Бод	Тип орбиты	$f_0$ , ГГц	ПСП	Вид КФ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	15	3	100	стационарная	1	М	ВКФ
2	20	14	1200	эллиптическая	2	ПГ	АКФ
3	30	15	1200	стационарная	3	ПГ	ВКФ
4	13	5	20	стационарная	4	ПГ	МИКФ
5	26	13	1200	эллиптическая	5	ПГ	АКФ
6	10	1	1200	эллиптическая	6	ПМ	ВКФ

Продолжение табл. 14

1	2	3	4	5	6	7	8
7	22	8	1200	эллиптическая	7	ПМ	МИКФ
8	18	4	100	стационарная	8	М	МИКФ
9	10	0,5	1200	стационарная	9	М	апер. АКФ
10	14	1	100	эллиптическая	10	М	апер. ВКФ
11	25	6	1200	эллиптическая	11	ПГ	апер. АКФ
12	14	7	1200	стационарная	12	ПГ	апер. ВКФ
13	11	3	2400	эллиптическая	13	ПГ	апер. АКФ
14	33	20	1200	эллиптическая	14	ПГ	апер. ВКФ
15	28	6	1200	эллиптическая	15	ПМ	ВКФ

## б. Задания по расчету системы

### 1. Расчет основных параметров сигнала

Рассчитать неопределенность по частоте за счет эффекта Доплера. По заданному коэффициенту помехозащищенности рассчитать базу сигнала в режиме поиска.

### 2. Разработка структурной схемы устройства поиска по времени и частоте

Провести оценку времени поиска для различных типов устройств поиска (одноканальных и многоканальных). Разработать структурную схему устройства поиска. Составить функциональную схему одного из узлов устройства поиска. Оценить аппаратную сложность устройства поиска по времени и частоте.

### 3. Разработка структурной схемы системы связи

Разработать структурную схему системы связи, начертить ее, привести описание ее работы.

### 4. Разработка структурной схемы генератора ПСП (вид ПСП указан в таблице вариантов)

Составить структурную схему устройства формирования ПСП, представить эпюры напряжений, пояснить работу схемы.

### 5. Расчет на ЭВМ корреляционной функции ПСП (вид КФ задан в таблице вариантов)

Разработать алгоритм моделирования на ЭВМ формирования ПСП. Рассчитать корреляционную функцию. Указать, в каком режиме и при каких сигналах следует учитывать рассчитанную КФ. Оценить изменение коэффициента помехозащищенности с учетом реальных КФ.

### в. Методические указания по выполнению заданий темы 2.7

Для выполнения заданий рекомендуется литература /3,11,17 - 19/.

При расчете неопределенности по частоте за счет эффекта Доплера следует использовать данные по нестабильности частоты для спутниковых систем связи, приведенные в /18/. База сигнала по коэффициенту помехозащищенности определяется по методике, приведенной в приложении 1. Здесь следует обратить внимание на особенности расчета параметров сигнала в режиме поиска. При расчете времени поиска следует учесть, что при наличии неопределенности по частоте время поиска рассчитывается по формуле

$$\bar{T}_{\text{пф}} = T_{\text{п}} \Delta f / \sqrt{K_{\text{сж}}},$$

где  $K_{\text{сж}}$ , - коэффициент сжатия сигнала по времени при поиске по частоте ( $K_{\text{сж}} = 1 - 300$ ).

При разработке структурной схемы устройства поиска рекомендуется рассмотреть возможность применения различных методов ускорения процедуры поиска, таких как согласованная фильтрация, двухэтапная процедура поиска, параллельный, последовательно-параллельный поиски и т.п. /17 - 19/. Принцип построения перестраиваемого согласованного фильтра для М-последовательностей описан в приложении 2.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ

Коэффициент помехозащищенности  $K_{\text{п}}$ , показывает, во сколько раз мощность помех может превышать мощность сигнала на входе приемника при сохранении качества приема

$$K_{\text{п}} = (P_{\text{п}} / P_{\text{с}})_{\text{вх}}. \quad (1)$$

Обычно  $K_{\text{п}}$  задается в дБ.

$$K_{\text{п}}, \text{ дБ} = 10 \lg K_{\text{п}}. \quad (2)$$

#### 1. Определение базы сигнала

Используя известную формулу

$$(P_{\text{п}} / P_{\text{с}})_{\text{вх}} = B/h^2, \quad (3)$$

где  $h^2 = E/N_{ш}$ , можно выразить коэффициент помехозащитности через базу  $B$  и параметр  $h^2$

$$K_{п}, \text{ дБ} = B, \text{ дБ} - K_{пре}, \text{ дБ}, \quad (4)$$

где  $B, \text{ дБ} = 10 \lg B$ ,  $K_{пре} = 10 \lg h^2$ . Коэффициент  $K_{пре}$  называется коэффициентом потерь решающей схемы, он определяет, во сколько раз мощность сигнала должна превышать мощность помехи на выходе решающей схемы для получения заданного качества. Формула (4) верна для идеального случая, когда можно не учитывать потери из-за нестабильности параметров, неточности синхронизации, неидеальности аппаратуры, внутрисистемных помех и т.п. На практике коэффициент помехозащитности определяется выражением

$$K_{п}, \text{ дБ} = B, \text{ дБ} - K_{пре} - K_{пот}, \quad (5)$$

где коэффициент потерь

$$K_{пот}, \text{ дБ} = K_{св} + K_{ап} + K_{ф} \quad (6)$$

выражается через  $K_{св}$  - коэффициент потерь за счет неточности синхронизация по времени (потери на сверку),  $K_{ап}$  - коэффициент потерь за счет неидеальности характеристик устройства в обработки (аппаратные потери),  $K_{ф}$  - коэффициент потерь, учитывающий, какая часть мощности передатчика используется для передачи сигнала, база которого рассчитывается. При расчетах можно полагать;  $K_{св} = 1 - 2$  дБ,  $K_{ап} = 1-3$  дБ. База сигнала определяется по формуле

$$B, \text{ дБ} = K_{п} + K_{пре} + K_{пот}, \quad (7)$$

Коэффициент потерь решающей схемы  $K_{\text{пре}}$  зависит от вида сигнала, а также от того, применяется или нет помехоустойчивое кодирование. По заданной вероятности  $p_2$  ошибки  $h^2$  и соответствующее ему значение  $K_{\text{пре}}$  рассчитывается в соответствии со следующими формулами.

Когерентный прием двоичных сигналов

$$p_2 = 1 - \Phi(\sqrt{\gamma \cdot h^2}), \quad (8)$$

где  $\gamma = 2$  при противоположных сигналах,  $\gamma = 1$  при ортогональных сигналах,  $\gamma = 1/2$  для сигналов с пассивной паузой,

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \right], \quad (9)$$

где  $\operatorname{erf}(y)$  – функция ошибки.

Некогерентный прием двоичных ортогональных сигналов

$$P_2 = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{2}}. \quad (10)$$

Передача информации с помощью  $M$ -ичных сигналов эквивалентна применению помехоустойчивого кодирования. При  $M$ -ичных сигналах и помехоустойчивом кодировании значения  $h^2$  при малой вероятности ошибки  $P_2$ , будут, как правило, меньше значения, определенного в соответствии с формулами (4) и (5). При  $M$ -ичных сигналах значения  $h^2$  можно определять по таблицам, помещенным в приложении

/13/, а при использовании помехоустойчивого кодирования определять  $h^2$  надо по эквивалентной вероятности ошибки /12/.

## 2. Определение ширины спектра сигнала и тактовой частоты ПСП

Для определения ширины спектра сигнала следует вспомнить, что база сигнала  $B$  определяется как отношение ширины спектра сигнала  $F$  к ширине спектра сообщения  $\Delta F$ .

$$B = F / \Delta F . \quad (11)$$

Ширина спектра сообщения  $\Delta F$  определяется скоростью передачи информации  $V$ ,  $\Delta F \approx V$ , тактовая частота  $f_T = F$ .

## 3. Особенности расчета параметров сигнала в режиме поиска

При расчете базы синхросигнала также используется формула (3). Коэффициент помехозащищенности  $K_n$  имеет такое же значение, как и в режиме приема информации, но при определении коэффициента потерь решающей схемы  $K_{пре}$  следует учесть следующее.

Сигналы можно считать ортогональными (циклические сдвиги одного сигнала).

При поиске решение выносится фактически при анализе отсчетов, что примерно в  $(B - 1)$  раз увеличивает ошибку или при заданной вероятности ошибки примерно в  $\log B$  раз увеличивает значение  $h^2$  (здесь  $B$  - база синхросигнала).

К тому же потери на свертку при поиске имеют большее значение, чем в режиме приема информации, так как неточность совпадения по времени сигнала с копией может быть

очень большой, например,  $\pm \tau_0/2$  при шаге  $\tau_0 = 1/f_T$ . Можно положить  $K_{св} = 5$  дБ.

Обозначим через  $V'$  значение базы синхросигнала, полученное из формулы (3) с учетом вышесказанного. База синхросигнала, как правило, больше базы информационного сигнала. Время интегрирования синхросигнала (время, затрачиваемое на получение одного отсчета) называют временем накопления  $T_n$ . При использовании одинаковой тактовой частоты в синхро- и информационном каналах

$$T_n = V' \tau_0. \quad (12)$$

Для синхросигнала целесообразно выбирать ПСП такой же длины, как и для информационного сигнала. Но в силу того, что  $V' > V$ , накопление осуществляется в течение  $V'/V$  периодов ПСП.

Среднее значение поиска при последовательной процедуре (применяется одноканальный коррелятор)

$$T_n = \frac{V'T_n}{2} + \frac{1-D}{D} V'T_n, \quad (13)$$

где  $D$  - вероятность правильного обнаружения при заданной вероятности ложной тревоги.

В случае превышения среднего времени поиска  $T_n$  заданной величины необходимо рассмотреть возможные меры по сокращению времени поиска с использованием двухэтапной процедуры поиска, многоканального коррелятора, сжатия сигнала по времени, согласованной фильтрации, составных ПСП.

## ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО СОГЛАСОВАННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Согласованный фильтр (СФ) обычно содержит многоотводную линию задержки (МЛЗ), число отводов которой равно длине ПСП  $N = 2^m - 1$ . Перестройка СФ осуществляется изменением коэффициента передачи в каждом отводе МЛЗ в соответствии со структурой ПСП. В каждый отвод МЛЗ ставится перемножитель, на второй вход которого подается значение элемента ПСП (1 или -1) с выхода соответствующего разряда опорного регистра. Перестройка фильтра осуществляется сменной ПСП в опорном регистре, все возможные ПСП хранятся в ПЗУ. Такой принцип перестройки фильтра требует сложного устройства: большого количества перемножителей в большой объем памяти ПЗУ.

Для М-последовательности длины  $N = 2^m - 1$  можно сократить число перемножителей и объем памяти ПЗУ, а также упростить процесс перестройки фильтра путем подключения к перемножителям групповых отводов МЛЗ, которые представляют собой объединение (линейное суммирование) некоторых отводов МЛЗ (рис. П1). Это основано на том, что для некоторого сдвига (называемого характеристическим) М-последовательности оказываются одинаковыми значения элементов с номерами  $i \cdot 2^k$ ,  $k = 0, 1, \dots, (m-1)$ . Здесь надо напомнить, что вычисление значения  $i \cdot 2^k$ , осуществляется по модулю  $N$ . Все элементы с номерами  $i \cdot 2^k$ , принадлежат одному классу, который обозначим через  $A_i$ . Классы элементов  $A_i$ , могут быть выстроены в последовательность  $k$   $A_i$ ,

$A_{iq}, A_{iq}^2, A_{iq}^{n-1}$ , которую называют  $q$ -ветвью. Если каждый элемент  $A_q$   $q$ -ветви заменить значением  $r$ -го элемента  $M$ -последовательности, то получим  $q$ -код. Эти  $q$ -ветви и соответствующий ей  $q$ -код замечательны тем, что при  $i=1$   $q$ -код соответствует 1-й  $M$ -последовательности (принцип нумерации  $M$ -последовательности описан в /3/). При  $i=r$   $q$ -код соответствует  $r$ -й ПСП. Это приводит к тому, что  $q$ -код для  $iq$ -й ПСП можно получить, циклически сдвигая  $q$ -код для 1-й ПСП на один элемент влево и т.д. Это свойство  $q$ -кода используется для синтеза перестраиваемого СФ, в котором коэффициент передачи меняется не в каждом отводе МЛЗ, а в групповых отводах. В  $j$ -м групповом отводе объединены  $j \cdot 2^k$  - е отводы МЛЗ. Здесь надо заметить, что нумерация отводов МЛЗ начинается с конца линии задержки, поскольку импульсная характеристика СФ должна быть зеркальным отображением формы сигнала, и 0-й элемент ПСП соответствует последнему отводу МЛЗ.

Именно групповые отводы подключаются к перемножителям, на вторые входы которых подаются соответствующие элементы  $q$ -кода. При перестройке на другую ПСП  $q$ -код в опорном регистре циклически сдвигается.

Для  $M$ -последовательностей, длина которых выражается простым числом, имеется одна  $q$ -ветвь. Каждый групповой отвод объединяет  $m$  отводов МЛЗ. Для всех  $M$ -последовательностей при четном значении  $m$  0-й элемент равен нулю, а при нечетном - 1. В соответствии с этим последний отвод МЛЗ в перестройке фильтра не участвует, он подключается к выходному сумматору непосредственно при нечетном  $m$  или через инвертор при четном  $m$ . На рис. П1 представлена структурная схема СФ для  $M$ -последовательности длины  $N$ , которая выражается простым числом. Если длина  $M$ -последовательности не является простым числом, то имеется несколько  $q$ -ветвей. В табл. 2.13 представлены  $q$ -ветви и их  $q$ -

коды для М-последовательностей длины 31 - 2047. Основными q-ветвями названы те, элементами которых являются номера М-последовательностей. Все остальные q-ветви названы дополнительными. Основные и дополнительные ветви различаются правилами сдвига их q-кодов при перестройке на другую М-последовательность. При перестройке с р-й на q-ю ПСП q-код основной ветви циклически сдвигается влево на один элемент. Если имеются две основные ветви, то сдвиг осуществляется одновременно обоих q-кодов, а при переходе на обратную ПСП осуществляется обмен q-кодами между основными ветвями.

В дополнительных ветвях типа D0 q-коды меняются, как и в основных. Ветви D1 и D2 отличаются от основных при перестройке на обратную ПСП: в ветвях типа D1 q-код сдвигается на  $n/2$  элементов ( $n$  - число элементов в q-ветви), а в ветвях типа D2 - q-код не меняется. На рис. П1 показаны также блок хранения и записи кода, содержащий ПЗУ, и блок перестройки и индикации, содержащий кнопку  $K_n$  нажатием которой осуществляется циклический сдвиг содержащего опорного регистратора RG, на индикаторе высвечивается число нажатий кнопки (сдвигов).

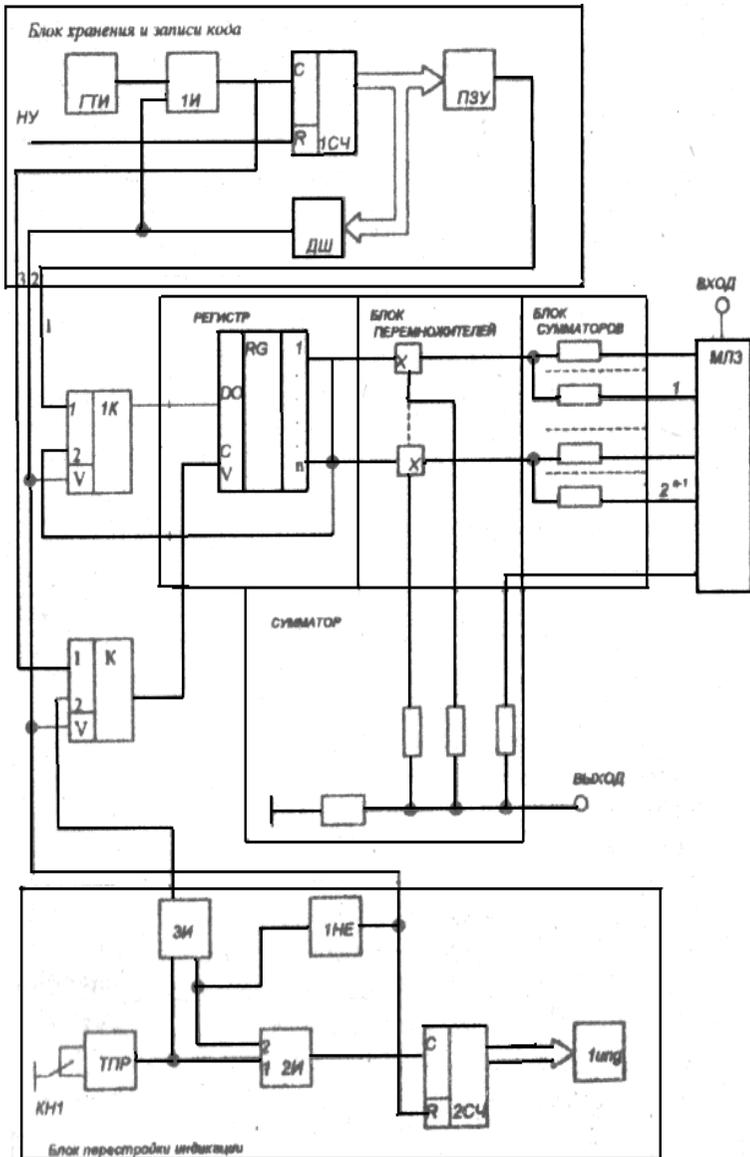


Рис. П1

Таблица 15

## Дополнительные и основные ветви и их коды

Но- мер	q	Пред ст. q- вет-ви	q-код	Тип ветви
1	2	3	4	5
31	3	1	011001	основная
63	5	1	011110	основная
		3	01	доп. Д1
127	3	1	000100011011111010	основная
255	7	1	00011110	основная
		127	00011001	основная
		3	01111110	доп. Д1
		5	1011	доп. Д1
		15	10	доп. Д1
511	5	1	0110001111001001000010 10	основная
		235	0010011110011111101110 01	основная
		7	01100001	доп. Д1
		13	01	доп. Д1
1023	5	1	0001111110100101110111 10011100	основная
		511	0010001011000010101101 11010001	основная
		21	111100101100000	доп. Д0
		351	111000010011101	
		11	010	доп. Д0
		253	011	
		31	10	доп. Д2

Продолжение табл. 15

1	2	3	4	5
2047	3	1	0011110010111011010100 110111000100100	основная
			1011001001010110100100 001111011110110	
			01110000101111	
		1023	0001010000100101100110 011001000000000	основная
			1000001101011011010100 111011101110001	
			00101111110110	
		23	01011110	доп. Д1

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ БИНАРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Корреляционная функция псевдослучайных последовательностей в общем виде определяется по формуле

$$R(S) = \sum_{K=0}^{N1-1} \mu_k \mu'_{s+k}, \quad (14)$$

где  $\mu_k$  - k-й элемент первой ПСП длины N,  $\mu'_s$  - k-й элемент второй ПСП той же длины. При расчете автокорреляционной функции обе ПСП являются одинаковыми, а при расчете взаимно корреляционной - разными. При расчете периодической КФ  $N1=N$ , а при аперодической КФ  $N1= N - 2$ . В предлагаемых заданиях элементами ПСП являются символы 0 и 1. Но применительно к ФМ сложным сигналам следует провести замену:  $0 \rightarrow 1$ ,  $1 \rightarrow -1$  и ПСП будет называться бинарной. Для

бинарной ПСП корреляционная функция может вычисляться по формуле

$$R(S) = A_S - D_S, \quad (15)$$

где  $A_S, D_S$  - число пар  $(\mu_k, \mu'_s)$  соответственно с одинаковыми и различными элементами при изменении  $k$  от 0 до  $N-1$ . При вычислении значений  $A_S$  и  $D_S$  целесообразно применять не умножение элементов, а операцию сравнения, одну из самых быстрых операций ЭВМ.

Для периодической КФ  $D_S = N - A_S$  и

$$R(S) = 2A_S - N. \quad (16)$$

В этом случае надо вычислить только  $A_S$  - число пар с одинаковыми элементами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн / Г.П. Грудинская. - М.: Высш. шк., 1975. – 279 с.
2. Долуханов М.П. Распространение радиоволн / М.П. Долуханов. – 1972. - 375 с.
3. Бессарабова А.А. Разделение сигналов по форме в широкополосных системах передачи информации / А.А. Бессарабова, М.Д. Венедиктов, В.И. Ледовских. - Воронеж: ВГТУ, 2007. - 87 с.
4. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Л.Е. Варакин. - М.: Сов. радио, 1970. - 304 с.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. - М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
6. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов / Л.Е. Варакин. - М.: Сов. радио, 1970. - 375 с.
7. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств / Л.С. Гуткин. - М.: Радио и связь, 1980. – 288 с.
8. Радиосистемы передачи информации / под ред. И.М. Теплякова. - М.: Радио и связь, 1982. - 264 с.
9. Проектирование импульсных и цифровых устройств радиотехнических устройств / под ред. Ю.М. Казаринова. - М.: Высш. шк., 1985. - 320 с.
10. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации / П.И. Пенин. - М.: Сов. радио, 1976. – 366 с.
11. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации/ под ред. В.Б. Пестрякова. – М.: Сов. радио, 1973. - 424 с.
12. Бессарабова А.А. Системы передачи информации с кодовым разделением каналов: учеб. пособие / А.А. Бессарабова, В.И. Ледовских. – Воронеж: ВГТУ, 2006. 182 с.
13. Бессарабова А.А. Псевдослучайные двоичные последовательности: учеб. пособие / А.А. Бессарабова, В.И. Ледовских. – Воронеж: ВГТУ, 2006. 130 с.

14. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки: пер. с англ.; / У. Питерсон, Э. Уэлдон; под ред. Р.Л Добрушина, С.И. Самойленко. - М.: Мир, 1976. – 338 с.

15. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г. И.Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; под ред. Г.И. Тузова. - М.: Радио в связь, 1985. – 384 с.

16. Справочник по спутниковой связи и вещанию / под ред. Л.Г. Клитова. - М.: Радио и связь, 1983. – 273 с.

17. Журавлев В.И. Поиск и синхронизация в широкополосных системах / В.И. Журавлев. - М.: Радио и связь, 1986. – 50 с.

18. Свердлюк М.Б. Оптимальные дискретные сигналы / М.Б. Свердлюк. – М.: Сов. Радио, 1975. – 245 с.

# ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫМИ СЛОЖНЫМИ СИГНАЛАМИ

Методические указания и задания для курсовой работы по дисциплине «Радиотехнические системы» для студентов специальности 210302 «Радиотехника» очной и очно-заочной форм обучения

Составители: Ледовских Валерий Иванович  
Бессарабова Альбина Альфонсовна

В авторской редакции

Подписано в печать 23.04.07.  
Формат 60x84/16. Бумага для множительных аппаратов.  
Усл. печ. л. 3,1. Уч – изд. л. 2,9. Тираж 70 экз. «С»

Заказ №

ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14

ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ  
ИНФОРМАЦИИ С ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫМИ  
СЛОЖНЫМИ СИГНАЛАМИ

Методические указания и задания для курсовой работы по дисциплине «Радиотехнические системы» для студентов специальности 210302 «Радиотехника» очной и очно-заочной форм обучения

Воронеж 2007

Составители: канд. техн. наук В.И. Ледовских  
канд. техн. наук А.А. Бессарабова

УДК 621.396.96

Широкополосные системы передачи информации с фазоманипулированными сложными сигналами: методические указания и задания для курсовой работы по дисциплине «Радиотехнические системы» для студентов специальности 210302 «Радиотехника» очной и очно-заочной форм обучения / ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.И. Ледовских, А.А. Бессарабова. Воронеж, 2007. 47 с.

В разработке представлены темы и задания к курсовой работе по дисциплине «Радиотехнические системы». Предлагаемые семь тем касаются раздела дисциплины «Системы передачи информации». Для каждой темы даются методические указания по выполнению заданий.

Предназначена для студентов 5 – 6 курсов.

Табл. 15. Ил. 1. Библиогр.: 20 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Э.Д. Поликарпов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р физ.-мат. наук, проф. Ю.С. Балашов

Печатается по решению редакционно-издательского совета «Воронежского государственного технического университета»

© ГОУВПО «Воронежский  
государственный технический уни-  
верситет», 2007





