

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

***ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ  
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ***

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторной работе  
по курсу «Сетевые технологии и сигнализация в системах  
телекоммуникаций»  
для студентов специальностей I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»  
и I-45 01 05 «Сети распределения мультимедийной информации»  
всех форм обучения

Минск 2007

УДК 621.396.9 (075.8)

ББК 32.95 я 73

П 76

С о с т а в и т е л и :

И. И. Астровский, А. Л. Земляков

**П 76** **Принципы** построения спутниковых радионавигационных систем второго поколения : метод. указания к лаб. работе по курсу «Сетевые технологии и сигнализация в системах телекоммуникаций» для студ. спец. I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций» и I-45 01 05 «Сети распределения мультимедийной информации» всех форм обуч. / сост. И. И. Астровский, А. Л. Земляков. – Минск : БГУИР, 2007. – 23 с. : ил.

Рассматриваются особенности построения спутниковых радионавигационных систем (СРНС) второго поколения, структура основных современных СРНС, особенности разделения и виды селекции сигналов в радионавигационных системах.

Лабораторная работа выполняется на ПЭВМ в диалоговом режиме и обеспечивает достаточный уровень сервиса пользователя и защиты программного продукта от неправильных действий. Может быть использована студентами при изучении курсов, связанных с цифровой обработкой сигналов в системах подвижной связи.

**УДК 621.396.9 (075.8)**  
**ББК 32.95 я 73**

© Астровский И. И., Земляков А. Л., составление, 2007  
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

## Содержание

Список сокращений.....	4
Цель лабораторной работы.....	5
1 Основные теоретические сведения .....	5
1.1 Спутниковые радионавигационные системы. Определение активных и сетевых СРНС.....	5
1.2 Особенности разделения сигналов в сетевых СРНС.....	10
1.3 Частотная селекция.....	11
1.4 Временная селекция.....	13
1.5 Структурная селекция (разделение по форме или кодовое разделение CDMA).....	14
1.6 Особенности разделения сигналов в активных СРНС.....	19
2 Последовательность выполнения лабораторной работы.....	20
3 Содержание отчета.....	21
Литература.....	21

## Список сокращений

- AATMS – Advanced Air Traffic Management System – активная беззапросная система, в основе которой лежит метод случайного (свободного) доступа к НИСЗ-ретранслятору (в США)
- ATS – Advanced Technology Satellite – активная СРНС (США)
- CDMA – Code Division Multiple Access – система с кодовым разделением каналов (кодовое разделение каналов), структурная селекция, разделение по форме или кодовое разделение
- FDM – frequency-division multiplexing – уплотнение с частотным разделением
- FDMA – frequency-division multiple access – множественный доступ с частотным разделением
- FM – frequency modulation – частотная модуляция
- GPS – Global Positioning System – глобальная система позиционирования (США)
- Navstar – Navigational Satellite Time and Ranging – навигационный спутник измерения времени и координат (США)
- TDMA – time-division multiple access – уплотнение радиоканала с временным разделением
- АКФ – автокорреляционная функция
- АП – аппаратура потребителя
- ГЛОНАСС – ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система (Россия)
- ИСЗ – искусственный спутник Земли
- КИК – командно-измерительный комплекс
- НАП – навигационная аппаратура потребителя
- НИСЗ – навигационный искусственный спутник Земли
- НКА – навигационный космический аппарат
- НЦН – наземный центр навигации
- П – потребитель
- ПЭВМ – персональная электронная вычислительная машина
- СРНС – спутниковая радионавигационная система
- ССРНС – сетевая спутниковая радионавигационная система
- ШВ – шкала времени
- ШПС – шумоподобный сигнал
- ЭИ – эфемеридная информация

## **ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Целью выполнения лабораторной работы является изучение способов построения спутниковых радионавигационных систем (СРНС) второго поколения, определение их достоинств и недостатков, исследование принципов действия различных СРНС, методов разделения каналов, видов модуляции и манипуляции в них.

### **1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

#### *1.1 Спутниковые радионавигационные системы. Определение активных и сетевых СРНС*

В 60-е годы были созданы и введены в эксплуатацию СРНС первого поколения – система ТРАНЗИТ (США) и система ЦИКАДА (СССР). В СРНС первого поколения орбитальная группировка содержит пять-шесть низкоорбитальных навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ) на круговых орбитах с высотой около 1 000 км над поверхностью Земли. Навигационная аппаратура потребителя (НАП) на морском подвижном объекте принимает навигационные радиосигналы от радиовидимого навигационного ИСЗ в течение сеанса навигации продолжительностью 5..15 минут и проводит измерения приращения фазы несущего колебания принимаемого навигационного радиосигнала либо на коротких (2 с) интервалах времени (доплеровская навигация), либо на длинных (интегрально-доплеровская навигация). Измерения приращения фазы эквивалентны измерениям приращения дальности от объекта до навигационного ИСЗ на заданных интервалах времени. НАП на основе эфемеридной информации (ЭИ), содержащейся в принимаемом навигационном радиосигнале, и результатов измерения приращений дальности до навигационного ИСЗ определяет (уточняет) две горизонтальные координаты объекта на поверхности земного эллипсоида.

Низкоорбитальные СРНС первого поколения обладают следующими существенными недостатками:

– в сеансе навигации возможность НАП определять только горизонтальные координаты подвижного объекта без определения высоты местоположения объекта;

– сравнительно низкая точность определения горизонтальных координат подвижного объекта ( $a = 70..100$  м) из-за учета собственного движения подвижного объекта;

– длительные перерывы между сеансами навигации (от 0,5 ч в приполярных районах до 2 ч в экваториальных районах).

Потребность в оперативной высокоточной навигации сухопутных, морских, воздушных и низкоорбитальных космических объектов обусловила создание в 80–90-е годы среднеорбитальных СРНС второго поколения – системы Navstar (Navigational Satellite Time and Ranging – навигационный спутник измерения времени и координат) или, по её фактическому назначению, GPS (Global Positioning System – глобальная система позиционирования) в США и системы ГЛОНАСС в России (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система). Основные свойства обеих СРНС определяются выбором системы НИСЗ (баллистическим построением), высокой стабильностью бортовых эталонов частоты, выбором сигнала и способов его обработки, а также способами устранения и компенсации погрешностей.

Основное назначение СРНС второго поколения – глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов: наземных (сухопутных, морских, воздушных) и низкоорбитальных космических. Термин «глобальная оперативная навигация» означает, что подвижной объект, оснащенный НАП, может в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить (уточнить) параметры своего движения – три координаты ( $x, y, z$ ) и три составляющие вектора скорости ( $v_x, v_y, v_z$ ).

В СРНС второго поколения применяются навигационные космические аппараты (НКА) на круговых геоцентрических орбитах с высотой около 20 000 км над поверхностью Земли. В системе обеспечивается взаимная синхронизация навигационных радиосигналов, излучаемых орбитальной группировкой НКА. В НАП на

подвижном объекте в сеансе навигации принимаются радиосигналы не менее чем от четырех радиовидимых НКА. Эти радиосигналы используются для измерения трех разностей дальностей и трех разностей радиальных скоростей объекта относительно четырех НКА. Результаты измерений и эфемеридная информация, принятая от каждого НКА, позволяют определить (уточнить) три координаты и три составляющие вектора скорости подвижного объекта, определить смещение шкалы времени (ШВ) объекта относительно ШВ системы. В СРНС число потребителей не ограничивается, поскольку НАП не передает радиосигналы на НКА, а только принимает их (пассивная автономная навигация).

Радионавигационное поле в СРНС второго поколения наряду с основной функцией (глобальная автономная оперативная навигация приземных подвижных объектов) позволяет проводить:

- локальную высокоточную навигацию наземных подвижных объектов (сухопутных, морских, воздушных) на основе дифференциальных методов навигации с применением стационарных наземных корректирующих станций;
- высокоточную взаимную геодезическую «привязку» удаленных наземных объектов;
- взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах;
- неоперативную автономную навигацию среднеорбитальных космических объектов;
- определение ориентации объекта на основе радиоинтерферометрических измерений на объекте с помощью навигационных радиосигналов, принимаемых разнесенными антеннами.

Принципы построения СРНС ГЛОНАСС и НАВСТАР в общих чертах идентичны, но различаются техническим выполнением подсистем.

В состав обеих спутниковых РНС входят:

- сеть НИСЗ (навигационные ИСЗ);

- наземные средства управления, слежения и контроля (КИК – командно-измерительный комплекс);
- навигационная аппаратура потребителей (потребители);
- средства развёртывания и восполнения системы (космодром и т.п.).

Сеть навигационных искусственных спутников Земли развёртывается из 18–24 спутников, координированно обращающихся по круговым орбитам высотой около 20 000 км (период обращения 12 ч), лежащим в 3–6 пересекающихся плоскостях с наклоном  $55^{\circ}$ .. $65^{\circ}$  так, что на каждой из орбит равномерно размещается от 3 до 8 спутников. Система спутников представляет собой совокупность источников навигационных сигналов, передающих одновременно значительный объём служебной информации. В навигационном сигнале каждого спутника передаётся информация двух типов: аналоговая – измеряемые псевдодальность, псевдоскорость, а также метки времени; и цифровая (служебная) – кадры эфемеридной информации и кадры альманаха.

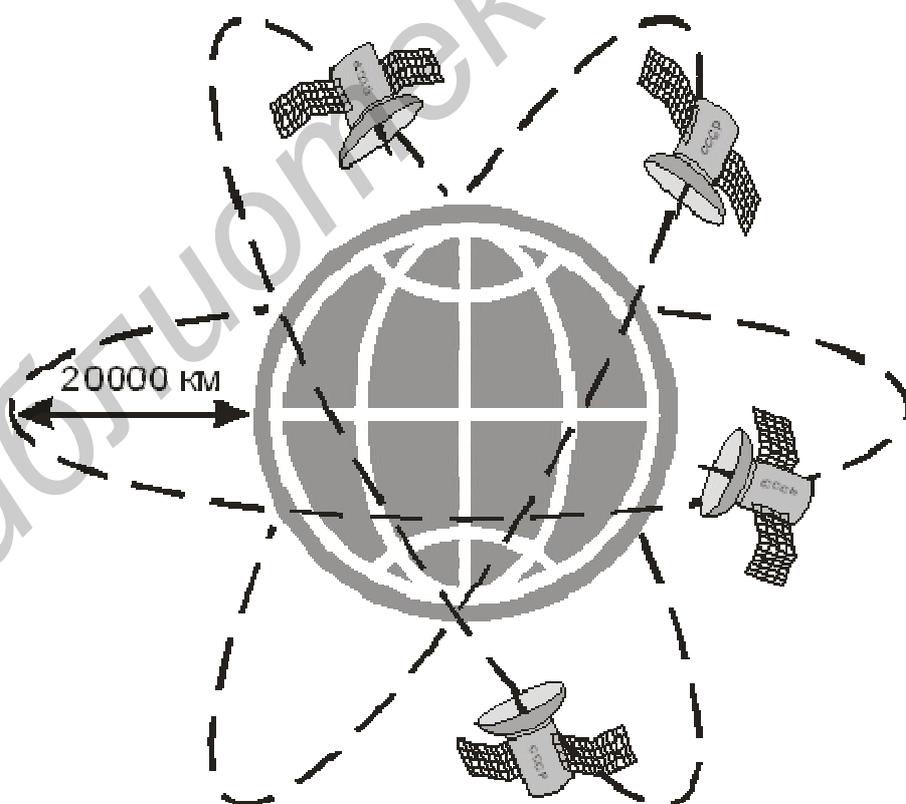


Рисунок 1 – Сеть навигационных искусственных спутников Земли

В командно-измерительный комплекс входят:

1) станции контроля, которые ведут траекторные и временные измерения для определения и прогнозирования пространственного положения спутников и расхождения их шкал времени с временной шкалой системы, а также собирают телеметрическую информацию о состоянии бортовых систем;

2) центр управления системой, собирающий информацию от станций контроля, формирующий массив служебной информации (альманах, эфемериды, частотно-временные поправки) и программу управления бортовыми средствами;

3) станции управления, закладывающие в бортовые запоминающие устройства служебную информацию и программу управления, а также ведущие оперативное управление работой бортовых средств каждого из спутников.

Аппаратура потребителя предназначена для определения пространственных координат и параметров движения объекта по результатам измерений. По сложности технических решений и объёму аппаратных затрат аппаратуру потребителя разделяют на одноканальную (в том числе мультиплексную, когда система очень быстро переключается между сигналами орбитальной группировки), которая в каждый текущий момент времени ведёт приём и обработку радиосигнала только одного НИСЗ, и многоканальную, позволяющую одновременно принимать и обрабатывать сигналы нескольких НИСЗ.

Средства развёртывания и восполнения системы (космодром) обеспечивают вывод на орбиты спутников при первоначальном развёртывании сети НИСЗ и при её восполнении.

Сетевые спутниковые радионавигационные системы являются системами глобального высокоточного определения полного вектора состояния потребителя, т.е. координат, скорости, её направления и ориентации объекта в пространстве. Определение пространственных координат и составляющих скорости основывается на дальномерных и доплеровских измерениях сигналов, принятых со спутников.

Известны активные СРНС с регулярным разделением сигналов, например, системы, построенные на спутниках ATS-1 (Advanced Technology Satellite, США, 1966), ATS-3 (1967) и ATS-5 (1969) и др.

В экспериментах со спутниками ATS-1, ATS-3 и ATS-5 на навигационный сигнал накладывалось дополнительное требование хорошей совместимости с цифровой системой связи, поэтому дальномерные коды вводились в поток цифровых данных линий связи. Длительность дальномерных сигналов составляла десятки миллисекунд, так что отрезок времени для определения дальности в каналах связи был весьма мал по сравнению с длительностью связных сообщений.

Примерами активных беззапросных систем, в основе которых лежит метод случайного (свободного) доступа к НИСЗ-ретранслятору, являются проекты системы AATMS (Advanced Air Traffic Management System), разрабатываемые для управления воздушным движением различными фирмами США.

### *1.2 Особенности разделения сигналов в сетевых СРНС*

Условие одновременной работы нескольких НИСЗ – излучателей сигналов в сетевой пассивной СРНС – предъявляет специфические требования к передаче радионавигационных сигналов. В каждой точке околоземного пространства формируется групповой (суммарный) радионавигационный сигнал, представляющий собой сумму сигналов от нескольких НИСЗ. Образование группового сигнала можно рассматривать как операцию уплотнения радиоканала многоспутниковой РНС. В приемнике потребителя осуществляется операция, обратная уплотнению: из группового сигнала выделяются сигналы отдельных НИСЗ. Такая операция называется разделением сигналов.

Операция уплотнения/разделения сигналов характерна для многоканальных радиолиний систем передачи информации, в которых уплотняющее устройство, как правило, входит в передающее устройство. Поэтому в таких сис-

темах можно применять как линейные, так и нелинейные способы уплотнения, а соответственно и разделения каналов.

Существенным различием в возможностях уплотнения/разделения сигналов сетевых СРНС является отсутствие специального уплотняющего устройства, параметры которого можно было бы выбирать тем или иным способом. Сигналы отдельных спутников объединяются во всех точках околоземного пространства путем суперпозиции, т.е. операция уплотнения в принципе только линейна. Кроме того, она однозначна. Поэтому, рассматривая операцию разделения сигналов от различных НИСЗ, осуществляющую отображение пространства группового сигнала в пространство уплотняемых сигналов, на основе теории линейных преобразований можно сделать вывод о том, что в пассивных СРНС операция разделения сигналов также линейна.

К линейным методам разделения относятся такие, при которых разделение сигналов выполняется линейными устройствами с постоянными или переменными параметрами. Известно, что для линейного разделения каналов при линейном уплотнении необходимым и достаточным условием является линейная независимость канальных сигналов, а следовательно, их ортогональность, поскольку систему линейно независимых функций линейным преобразованием всегда можно сделать ортогональной. Известные способы линейного разделения сигналов основываются на использовании следующих видов селекции: пространственной, временной, частотной, структурной (разделение по форме сигналов).

### *1.3 Частотная селекция*

Большинство спутников связи расположено на геостационарной или геосинхронной орбите. Это означает, что спутник находится на круговой орбите, лежащей в плоскости земного экватора. При этом спутник находится на такой высоте над уровнем моря (приблизительно 35 830 км), на которой период обращения вокруг Земли равен периоду вращения самой Земли. Поскольку при наблюдении с Земли такие объекты кажутся неподвижными, три спутника, расположенных под

углом  $120^\circ$  друг к другу, позволяют охватить территорию всего земного шара (за исключением полярных областей). Большинство спутниковых систем связи использует нерегенеративные ретрансляторы или транспондеры. *Нерегенеративный* означает, что сигналы «земля/спутник» усиливаются, сдвигаются по частоте и ретранслируются на Землю без обработки сигнала, демодуляции или повторной модуляции. Наиболее широко используемым диапазоном в коммерческих системах спутниковой связи является так называемая полоса С (C-band). В данном диапазоне для передачи сигнала «спутник/Земля» применяются несущие частоты 6 ГГц и 4 ГГц. Согласно международным соглашениям, для систем передачи в полосе С разрешено использовать любой спутник, работающий в спектральном диапазоне шириной 500 МГц. В большинстве случаев спутник имеет 12 транспондеров с шириной полосы 36 МГц каждый. Наиболее распространенные транспондеры работают в режиме FDM/FM/FDMA (уплотнение с частотным разделением, частотная модуляция, множественный доступ с частотным разделением).

1 FDM (frequency-division multiplexing). Сигналы, имеющие одиночную боковую полосу шириной 4 кГц, обрабатываются с использованием FDM, в результате чего формируется составной многоканальный сигнал.

2 FM (frequency modulation). Составной сигнал модулируется несущей и передается на спутник.

3 FDMA (frequency-division multiple access). Поддиапазоны полосы транспондера (36 МГц) могут распределяться между различными пользователями. Каждому пользователю выделяется определенная полоса, на которой он получает доступ к транспондеру.

Таким образом, составные каналы FDM модулируются (FM), после чего информация передается на спутник, будучи распределенной по различным полосам в соответствии с системой FDMA (рисунок 2).



Рисунок 2 – Уплотнение радиоканала с частотным разделением

#### 1.4 Временная селекция

При уплотнении радиоканала с временным разделением ресурс связи распределен путем предоставления каждому из  $M$  сигналов (или пользователей) всего спектра в течение небольшого промежутка времени, называемого временным интервалом. Промежутки времени, разделяющие используемые интервалы, называются защитными (рисунок 3). Защитный интервал создает некоторую временную неопределенность между соседними сигналами и выступает в роли буфера, снижая тем самым интерференцию.

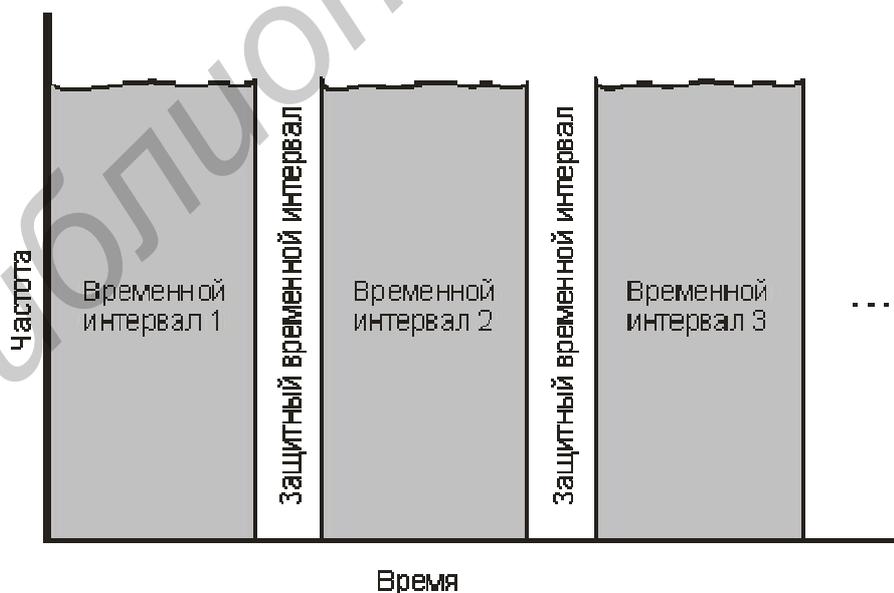


Рисунок 3 – Уплотнение радиоканала с временным разделением

На рисунке 4 приведен пример использования технологии уплотнения с временным разделением (time-division multiple access – TDMA) в спутниковой связи. Время разбито на интервалы, называемые кадрами. Каждый кадр делится на временные интервалы, которые могут быть распределены между пользователями. Общая структура кадров периодически повторяется, так что передача данных по схеме TDMA – это один или более временных интервалов, которые периодически повторяются на протяжении каждого кадра. Каждая наземная передающая станция транслирует информацию в виде пакетов таким образом, чтобы они поступали на спутник в соответствии с установленным расписанием.

После принятия транспондером такие пакеты ретранслируются на Землю вместе с информацией от других передающих станций. Принимающая станция обнаруживает и разуплотняет уплотненные данные соответствующего пакета, после чего информация поступает к соответствующим пользователям.

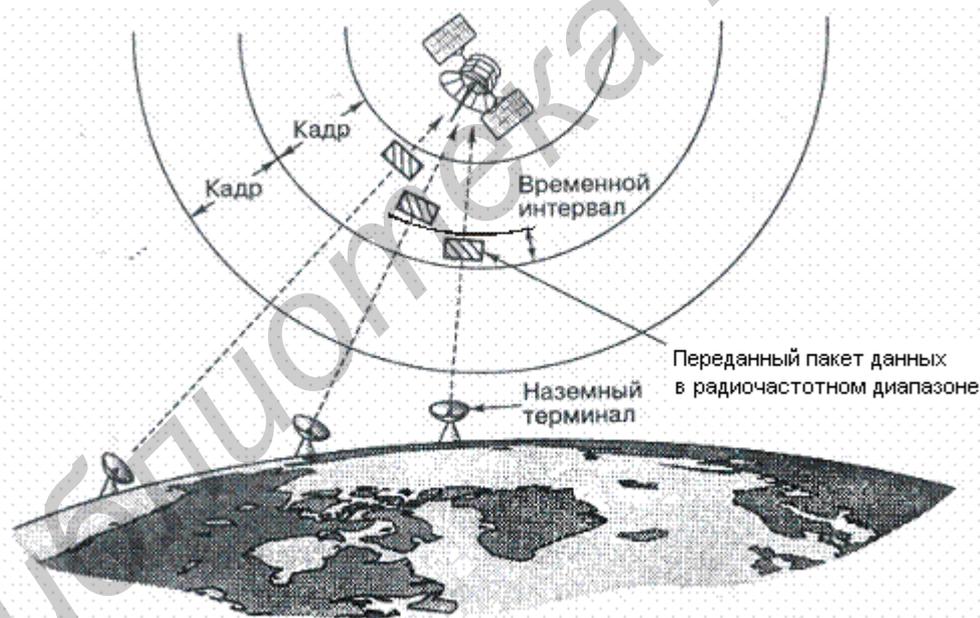


Рисунок 4 – Типичная конфигурация TDMA

### *1.5 Структурная селекция (разделение по форме или кодовое разделение CDMA)*

При таком способе разделения излучений все сигналы передаются одновременно в одной полосе частот, а для разделения сигналов при приеме используются

особенности их структуры, например различия кодов, поэтому данный способ называют также кодовым разделением.

Простой (элементарный) сигнал представляет собой посылку постоянного тока или отрезок гармонического колебания, который несет простейшую информацию.

Сложные сигналы могут быть получены из простых путем расширения спектра при неизменной длительности сигнала (например, введением внутриимпульсной модуляции по какому-либо сложному закону), увеличения длительности сигнала при неизменной ширине его спектра (например, путем повторения простых сигналов как без изменения их формы, так и с введением дополнительной манипуляции), а также различными комбинированными методами.

База сигнала определяется как удвоенное произведение полосы частот сигнала на его длительность:

$$B = 2TF. \quad (1)$$

Для простых сигналов  $B \approx 1$ , а для сложных  $B \gg 1$ . На этом основании простые сигналы часто называют узкополосными, а сложные – широкополосными.

Шумоподобные сигналы (ШПС) относятся к типу широкополосных сигналов ( $B \gg 1$ ). Эти сигналы не являются случайными, они формируются по определенному алгоритму. Однако их статистические свойства близки к свойствам шума: энергетический спектр почти равномерный, а функция корреляции имеет узкий основной пик и небольшие боковые выбросы.

Рассмотрим автокорреляционную функцию (АКФ) кодовой последовательности Баркера длиной 11, имеющей следующий вид: 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0.

Графическое изображение АКФ данной последовательности Баркера показано на рисунке 5.

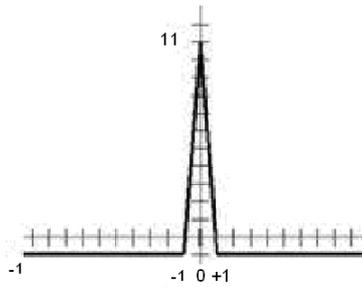


Рисунок 5 – АКФ последовательности Баркера

Такую АКФ можно назвать идеальной, поскольку на ней отсутствуют боковые пики, которые могли бы способствовать ложному обнаружению сигнала. В качестве негативного примера можно рассмотреть любую произвольную кодовую последовательность, например: 1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 . Графическое изображение автокорреляционной функции показано на рисунке 6.

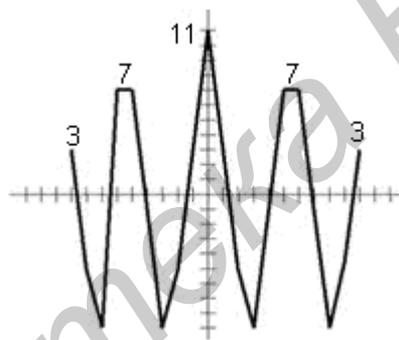


Рисунок 6 – АКФ произвольной кодовой последовательности

Боковые пики величиной 7 и 3 единиц могут привести к ложному срабатыванию системы в случае применения такой последовательности для распределения сигнала.

С помощью компьютерного моделирования были найдены так называемые коды Уилларда, которые при той же длине, что и коды Баркера, обладают иногда лучшими корреляционными свойствами. Кодовые последовательности Баркера, имеющие длину более 13 символов, неизвестны, поэтому для получения большего выигрыша при обработке, большей помехоустойчивости, а также для кодового разделения абонентов используют последовательности большей длины, значительную часть которых образуют М-последовательности.

Для реализации кодового разделения необходимо создать ансамбль сигналов, обладающих адресными признаками. Как известно, в СРНС для получения высокой точности измерения радионавигационных параметров (задержки и доплеровского смещения частоты сигнала) целесообразно использовать сигналы с большой базой  $B \gg 1$ , т.е. шумоподобные. Шумоподобные сигналы можно получить в результате дополнительной модуляции радиосигнала. Различные виды ШПС можно разбить на частотно-модулированные сигналы; многочастотные; фазоманипулированные; дискретные частотные (сигналы с кодовой частотной модуляцией, частотно-манипулированные сигналы); дискретные составные частотные. В современных СРНС используют фазоманипулированные сигналы. Такие сигналы получают путем внутриимпульсной фазовой манипуляции, когда исходный импульс длительностью  $\tau_c$  разбивается на  $L$  элементов с длительностью  $\tau_3 = \tau_c/L$ . При этом база сигнала  $B = \tau_c / \tau_3$ , а эквивалентная ширина спектра  $\Delta f_3 = 1 / \tau_3$ , т.е. в  $B$  раз шире, чем у исходного сигнала ( $\Delta f_c = 1 / \tau_c$ ).

Фазоманипулированный сигнал стандартной точности в СРНС ГЛОНАСС имеет параметры:  $\tau_c = 20$  мс,  $\tau_3 \approx 2$  мкс, база сигнала  $B = \tau_c / \tau_3$ .

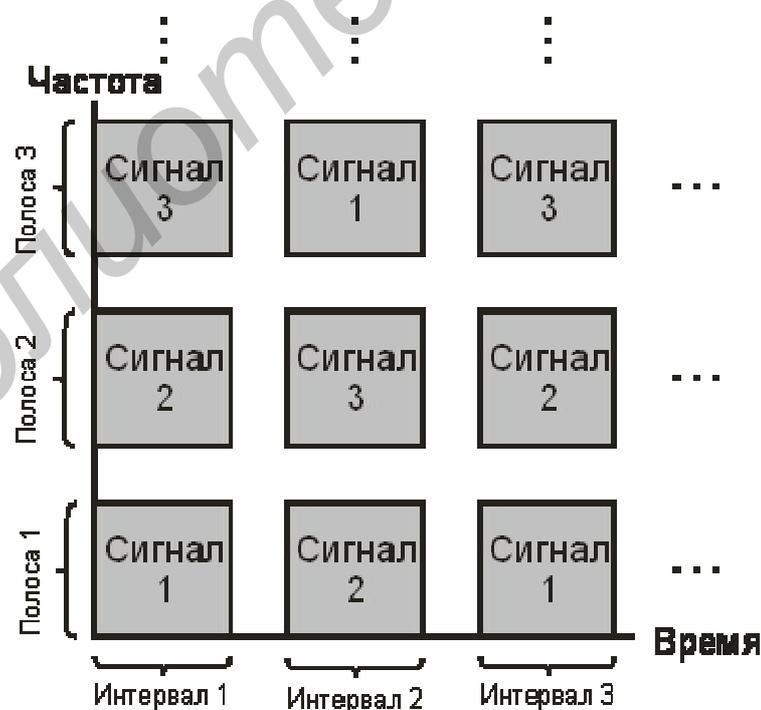


Рисунок 7 – Уплотнение с кодовым разделением

Как известно, помехоустойчивость определяется значением базы и, следовательно, системы с ШПС имеют достаточно высокую помехоустойчивость. Повышенная скрытность ШПС обеспечивается тем, что при равных мощностях и длительности сигнала, т.е. при равных энергиях, спектральная плотность ШПС в  $B$  раз меньше, чем узкополосного сигнала. Одновременно высокая помехоустойчивость и скрытность обеспечивают достойный уровень помехозащищенности систем с ШПС.

На рисунке 7 приводится иллюстрация метода множественного доступа с кодовым разделением, являющегося совмещением TDMA и FDMA. Как видно из рисунка 6, в каждом из коротких временных интервалов происходит перераспределение частотных диапазонов. В течение интервала 1 сигнал 1 использует диапазон 1, сигналы 2 и 3 – диапазоны 2 и 3. Во время интервала 2 сигнал 1 «перескакивает» в диапазон 3, сигнал 2 – в диапазон 1, а сигнал 3 – в диапазон 2 и т.д.

На блок-схеме, представленной на рисунке 8, показан процесс модуляции.

Во время каждого изменения частоты генератор псевдошумовой последовательности направляет кодовую последовательность на устройство скачкообразной перестройки частоты. Данное устройство выдает одну из допустимых для скачка частот. Модуляцию на рисунке 8 можно рассматривать как процесс, состоящий из двух этапов: модуляции данных и модуляции перестройки частоты.

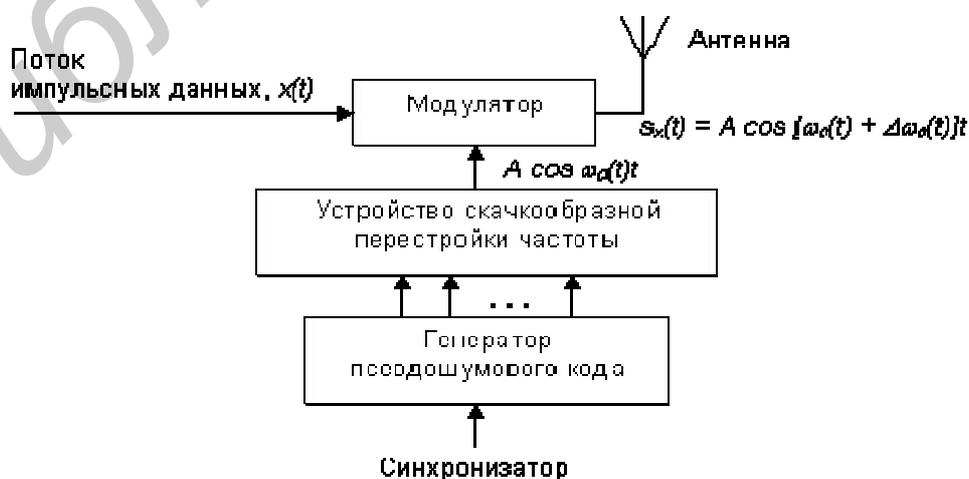


Рисунок 8 – Процесс модуляции схемы CDMA

Кодовое разделение излучений НИСЗ на основе ШПС предполагало закрепление за каждым НИСЗ своего определенного кода. Однако возможны и другие варианты структурного разделения излучений при использовании ШПС – квазичастотное или квазивременное.

Таким образом, применение ШПС в принципе позволяет организовать квазивременное разделение непрерывных сигналов от каждого спутника и тем самым практически исключить (при многоканальном приеме) дискретность местоопределений, присущую временному разделению излучений.

В описанных структурных способах разделения сигналов при использовании ШПС, единого для всех НИСЗ системы, предполагалось принудительное введение частотных или временных частичных сдвигов в излучения различных НИСЗ в передающих устройствах. Однако возможен и способ квазичастотного разделения без введения специального сдвига в излучения различных НИСЗ, основанный на случайном расположении спутников – излучателей радионавигационных сигналов – относительно приемника потребителя. В этом случае разделение характеризуется определенной вероятностью и называется «вероятностным».

### *1.6 Особенности разделения сигналов в активных СРНС*

При разделении сигналов в активных СРНС решаются два типа задач: разделение сигналов, излучаемых НИСЗ-ретрансляторами в сторону наземного центра навигации (НЦН); разделение сигналов, излучаемых приемником потребителя.

Первая задача более простая и обычно решается с помощью пространственной либо частотной селекции. Пространственная селекция применяется в основном для разделения излучений стационарных или квазистационарных спутников-ретрансляторов, медленно изменяющих свое положение относительно НЦН. При быстром перемещении НИСЗ-ретрансляторов используется частотная селекция. Возможен также комбинированный способ, использующий оба типа разделений.

Решение второй задачи зависит от общего принципа построения активной системы и от вида доступа к ретранслятору НИСЗ – регулярного или случайного. Запросным активным системам соответствуют регулярные способы уплотнения/разделения сигналов объектов, причем эти методы линейны в принципе, поскольку, как и в случае пассивной СРНС, объекты случайно расположены относительно НИСЗ.

Беззапросные активные системы можно построить на основе как регулярных методов уплотнения/разделения (система с вызывными каналами), так и случайных методов (системы со случайным доступом к ретранслятору). Недостатком регулярных методов разделения в активных системах является низкая пропускная способность, а случайным методам присущи взаимные помехи между разделяемыми сигналами.

## **2 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Программа оптимизирована под разрешение экрана 800x600, поэтому для ее наилучшего визуального восприятия рекомендуется установить данное разрешение.

Для успешного выполнения лабораторной работы следует изучить следующие вопросы:

- 1 Принципы построения СРНС первого поколения, их недостатки.
- 2 Принципы построения СРНС второго поколения, их отличия от СРНС первого поколения.
- 3 Структура основных современных СРНС.
- 4 Различия активных и сетевых СРНС.
- 5 Особенности разделения сигналов в сетевых СРНС.
- 6 Используемые виды селекции (частотная, временная, структурная).
- 7 Особенности разделения сигналов в активных СРНС.

Запустите программу и выберите главу, с которой хотите начать тестирование. После изучения теории нажмите кнопку **Тест** и последовательно ответь-

те на предложенные вопросы. Будьте внимательны при ответе. При нажатии кнопки **Далее** ответ будет засчитан и вы уже не сможете вернуться к нему. Вариантов ответов может быть несколько. Нужно указать правильные. Результат теста выводится после выполнения лабораторной работы при нажатии кнопки **Выход**. Лабораторная работа считается выполненной в полной мере при правильном ответе на все 17 вопросов.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Титульный лист.

3.2 Список вопросов, указанных в лабораторной работе, с вашими ответами.

3.3 Анализ результатов и выводы.

Библиотека БГУИР

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Сетевые спутниковые радионавигационные системы / И. С. Шебшаевич [и др.] : под ред. И. С. Шебшаевича. – 2-е изд. – М. : Радио и связь, 1993.
- 2 Гольдштейн, Б. С. Сигнализации в сетях связи / Б. С. Гольдштейн. – М. : Радио и связь, 1999.
- 3 Гольдштейн, Б. С. Протоколы сети доступа / Б. С. Гольдштейн. – М. : Радио и связь, 1999.
- 4 Лихтциндер, Б. Я. Интеллектуальные сети связи / Б. Я. Лихтциндер [и др.]. – М. : ЭКО-Трендз, 2000.
- 5 Крестьянинов, С. В. Интеллектуальные сети и компьютерная телефония / С. В. Крестьянинов [и др.]. – М. : Радио и связь, 2001.
- 6 Кульгин, М. Ю. Технология корпоративных сетей. Энциклопедия / М. Ю. Кульгин. – СПб., 2000.
- 7 Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб., 2000.
- 8 Назаров, А. Н. АТМ технология и практика измерений / А. Н. Назаров, М. В. Симонов. – М. : ЭКО-Трендз, 1999.
- 9 Алишев, Я. В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Ч. 2. Волоконно-оптические интегральные и интеллектуальные сети связи : учеб. пособие / Я. В. Алишев. – Минск : БГУИР, 1996.
- 10 Якубайтис, Э. А. Открытые информационные сети / Э. А. Якубайтис. – М. : Радио и связь, 1991.
- 11 Бакланов, И. Г. Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов. – М. : ЭКО-Трендз, 1999.
- 12 Саммерс, Ч. Высокоскоростное цифровое соединение с сетью ИНТЕРНЕТ / Ч. Саммерс, Б. Дюнц. – М. : Радио и связь, 1998.
- 13 Чуров, Е. П. Спутниковые системы радионавигации / Е. П. Чуров. – М. : Сов. радио, 1977.

Учебное издание

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ  
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторной работе

по курсу «Сетевые технологии и сигнализация в системах  
телекоммуникаций»

для студентов специальностей I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»  
и I-45 01 05 «Сети распределения мультимедийной информации»  
всех форм обучения

Составители:

**Астровский Иван Иванович**  
**Земляков Алексей Леонидович**

Редактор С. Б. Саченко  
Корректор Е. Н. Батурчик

---

Подписано в печать 16.03.2007.  
Гарнитура «Таймс».  
Уч.-изд. л. 1,0.

Формат 60x84 1/16.  
Печать ризографическая.  
Тираж 100 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,51.  
Заказ 28.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6