

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых»  
(ВлГУ)

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

Кафедра радиотехники и радиосистем

**ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И  
СЕТЕЙ**

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей» для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Составил: д.т.н., профессор каф. РТиРС  
Полушин П.А.

Владимир – 2018

Практические работы проводятся с целью овладения студентами основами расчетов и проектирования систем связи и для более углубленного понимания методов обработки сигнала.

При этом ставятся такие задачи:

1. Подготовка в области знания основных принципов построения и функционирования современной телекоммуникационной аппаратуры и ее типовыми решениями и конструкциями.

2. Формирование практических навыков расчетов систем связи.

3. Подготовка в области радиотехники для разных сфер профессиональной деятельности специалиста.

- проектно-конструкторской;
- производственно-технологической;
- научно-исследовательской;
- сервисно-эксплуатационной.

При проведении занятий преподаватель объясняет основные особенности и методику расчетов, исходные параметры и ожидаемые результаты. Приводятся требования на оформление отчетов по выполненным расчетам, необходимый минимум их содержания и ожидаемые результаты. После выполнения расчетов преподаватель проводит индивидуальную проверку и контроль выполнения. При соблюдении необходимых требований на форму и содержание расчетов производится их индивидуальная защита. Каждый студент объясняет ход выполненных расчетов, имевшие место особенности и возникавшие трудности. По завершении приводятся выводы по результатам расчетов.

В процессе доклада преподаватель задает вопросы по ходу расчетов и контролирует степень понимания студентами теоретических сведений, связанных с тематикой расчетов и правильность хода их выполнения. После

завершения доклада преподаватель оценивает уровень проведенной практической работы и ее качество. Практические задания по расчетам должны быть завершены и защищены до начала сессии и учитываются при постановке экзаменационной оценки.

Расчеты проводятся по исследованию метода разделения сигналов CDMA (“Code Division Multiple Access”), используемого в современных функционирующих и перспективных системах связи.

**ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.** (Подробное содержание студенты могут получить во время лекций и в электронном лекционном курсе).

Метод CDMA является одним из перспективных методов разделения сигналов, который в будущем призван заменить ныне используемые методы разделения (Частотное разделение и временное разделение). Особенностью и отличием метода от прочих является то, что сигналы всех абонентов одновременно передаются в одно и то же время и в одном и том же частотном диапазоне. Основным признаком их отличия выступает индивидуальный код, присваиваемых каждому абоненту.

На приеме осуществляется корреляционный прием в цифровой форме, т.е. фильтр приемника настроен на прием кода конкретного абонента таким образом, чтобы при получении суммы сигналов от многих абонентов он «чувствовал» только своего абонента, а на сигналы других абонентов не реагировал.

При практических расчетах студенты на своем примере проверяют данное свойство корреляционного приема и исследуют особенности, попутно возникающие при обработке сигналов.

При объяснении методики выполнения расчетов преподаватель производит упрощенный расчет на основе укороченного кода. Рассчитывается выходной сигнал приемника при приеме «своего» сигнала,

на который настроен фильтр приемника и при приеме «чужого» сигнала. Преподаватель комментирует результаты расчетов.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА.

При передаче цифровых (логических) сигналов каждой передаваемой логической единице присваивается свой уникальный цифровой код длины  $N$ . Поскольку передача осуществляется бинарными сигналами, то передача логической единицы соответствует передаче последовательности  $N$  противоположных символов (физических сигналов), которые обозначаются через  $+1$  и  $-1$ . Передаче логического нуля соответствует эта же последовательность, но инвертированная, т.е. вместо  $+1$  передается  $-1$  и наоборот.

В приемнике сигналы обрабатываются согласно алгоритму, укрупненная структурная схема которого приведена на рис. 1.

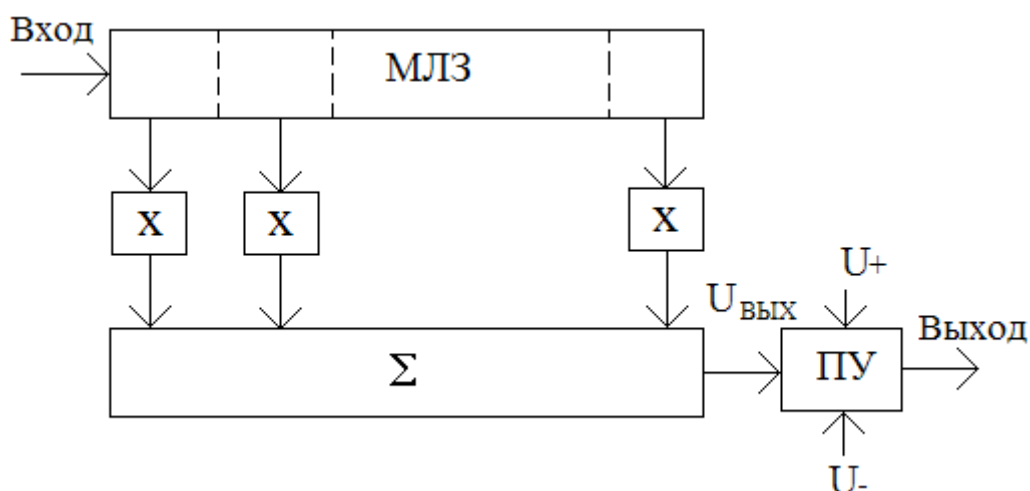


Рис. 1

На схеме обозначены: многоотводная линия задержки (МЛЗ), множители (X), арифметический сумматор ( $\Sigma$ ) и пороговое устройство (ПУ), которое принимает решение о передаче того или иного логического символа. На вход МЛЗ непрерывно поступает последовательность символов  $+1$

и -1, образующая группы по  $N$  символов, каждая из которых соответствует передаваемым в данный момент логической единице или логическому нулю. Длительность символов равна  $T$ .

Значения символов запоминаются в ячейках МЛЗ. Через интервал времени, равный  $T$ , на вход МЛЗ поступает новый символ принятой последовательности. При этом вся ранее запомненная последовательность символов сдвигается вправо. Символ, находившийся в последней ячейке удаляется.

С параллельных выходов МЛЗ значения символов поступают на перемножители ( $X$ ). В каждом из них значения  $e$  символа умножается либо на +1 (т.е., остается без изменений), либо умножается на -1, т.е. его знак изменяется на противоположный. Последовательность ячеек с тем или иным коэффициентом передачи определяет настройку приемника на прием конкретного кода. Она должна точно повторять последовательность символов, присвоенных данному абоненту. При этом с приходом сигналов от этого абонента отклик приемника на его сигнал будет иметь максимальный уровень. Если же приходит сигнал от другого абонента, то отклик приемника на него будет небольшим. Это и служит признаком кодового разделения каналов передачи.

В сумматоре осуществляется простое арифметическое сложение сигналов с выходов всех перемножителей. Суммарный сигнал  $U_{\text{ВЫХ}}$  подается на пороговое устройство. Фактически, это – блок принятия решения. Решение о передаче того или иного логического символа производится в нем на основе сравнения напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  со значениями двух порогов  $U_+$  и  $U_-$ . Если  $U_{\text{ВЫХ}} > U_+$ , то принимается решение, что в данной группе символов передавалась логическая единица. Если  $U_{\text{ВЫХ}} < U_-$ , то принимается решение, что передавался логический ноль.

Рассмотрим обработку простейшего кода для  $N=6$ . Пусть передаче логической единицы соответствует последовательность символов: +1,+1,-1,-1,+1,-1. (Передаче логического нуля соответствует инверсная последовательность

вида: -1,-1,+1,+1,-1+1.)

Пусть по линии связи передаются последовательно две логические единицы, т.е. последовательность символов: +1,+1,-1,-1,+1,-1,+1,+1,-1,-1, +1,-1. Тогда процесс обработки сигналов можно проиллюстрировать таблицей 1.

В таблице 1 строки объединены в группы по три строки. Цифры +1 и -1 для краткости записи обозначены знаками “+” и “-“. Группы соответствуют моментам времени  $t_1 \div t_2$ , следующими один за другим через интервал  $T$ . В первой строке каждой группы показана последовательность символов, соответствующая передаче подряд двух логических единиц. В каждой последующей группе вся эта последовательность символов сдвигается на одну позицию соответственно сдвигу в МЛЗ. Также показана сдвигающаяся с каждым тактом граница между символами, соответствующими разным логическим единицам (обозначена вертикальной линией).

Вторая строка символов из шести клеток одинакова в каждой группе и соответствует последовательному размещению множителей в шести перемножителях.

Третья строка символов в каждой клетке содержит результаты перемножения двух вертикально расположенных символов из расположенных над ней клеток.

В крайних больших клетках приведены значения суммарного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  на выходе сумматора в соответствующие моменты времени.

На рис. 2 приведен график изменения по времени отсчетов, снимаемых с выхода сумматора (т.е.  $U_{\text{ВЫХ}}$ ).

Из графика следует, что в моменты времени  $t_1$  и  $t_7$  значения превышают величину порога  $U_+$ , который выбран в данном случае равным +3. (Отрицательный порог  $U_-$  равен -3). При этом ПУ выработает правильное решение, что передавалось подряд две логические единицы. Если передаются логические нули, то отсчеты будут принимать значения, равные -6.

Таблица 1.

+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	-	$t_1$
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------

						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =+6
						+	+	+	+	+	+	
	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	+	t2
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =-2
						-	+	-	+	-	-	
		+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	t3
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =-2
						+	-	-	-	-	+	
			+	+	-	-	+	-	+	+	-	t4
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =+2
						-	+	+	-	+	+	
				+	+	-	-	+	-	+	+	t5
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =-2
						-	-	-	+	+	-	
					+	+	-	-	+	-	+	t6
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =-2
						+	-	+	-	-	-	
						+	+	-	-	+	-	t7
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =+6
						+	+	+	+	+	+	

Следует отметить, что в подобной схеме происходит концентрация энергии во времени. Действительно, уровень подаваемых на МЛЗ сигналов составляет одну относительную единицу, а уровень сигналов, поступающих на вход ПУ, равен N. Это приводит к увеличению отношения мощности сигнала к шуму и улучшению помехоустойчивости.

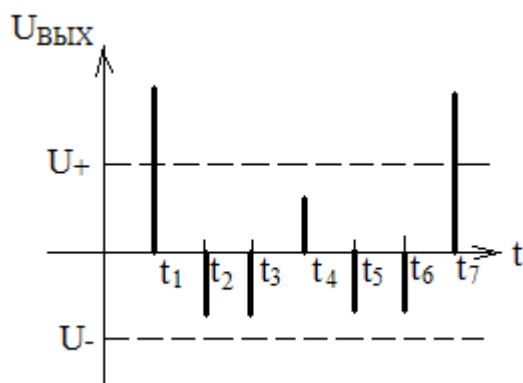


Рис. 2

Теперь рассмотрим ситуацию, когда на вход данного приемника приходит сигнал другого абонента, на код которого приемник не настроен. Повторим всю описанную процедуру обработки сигналов, подав на вход МЛЗ подряд две логические единицы, но закодированные другим кодом, например, последовательностью символов: +1, -1, -1, -1, +1, +1. Построим для такой последовательности таблицу (таблица 2), аналогичную первой. Вторые строчки каждой группы останутся теми же, т.к. они определяются структурой приемника, которая осталась неизменной.

График выходного сигнала сумматора для этой ситуации показан на рисунке 3. Ни один пороговый уровень не превышает, и приемник не будет реагировать на этот сигнал.

Таким образом, нужный сигнал приемником фиксируется, ненужные сигналы не воспринимаются, чем и осуществляется разделение сигналов.

В соответствии с вышеизложенной методикой студенты производят расчеты по исследованию свойств метода разделения сигналов CDMA с собственными кодами согласно полученному индивидуальному заданию. Список кодов согласно номерам индивидуальных заданий находится в таблице 3. Для краткости записи коды даны в восьмеричной системе исчисления. Во всех заданиях количество символов кода  $N$  равно 18, следовательно, его можно записать шестью восьмеричными числами. Соответствие записи одной цифры в восьмеричной системе и трех символов кода приведено ниже в таблице 4. При расчетах значения пороговых уровней принимаются равными  $U_+ = 9,5$  и  $U_- = -9,5$ .



Таблица 2.

+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	t1
						+	+	-	-	+	-	
						+	-	+	+	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =+2
	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =+2
						+	+	+	+	-	-	
		+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	t3
						+	+	-	-	+	-	
						+	+	-	+	-	+	U <sub>ВЫХ</sub> =+2
			+	-	-	-	+	+	+	-	-	
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =-2
						-	+	-	-	-	+	
				+	-	-	-	+	+	+	-	t5
						+	+	-	-	+	-	
						-	-	-	-	+	+	U <sub>ВЫХ</sub> =-2
					+	-	-	-	+	+	+	
						+	+	-	-	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =-2
						-	-	+	-	+	-	
						+	-	-	-	+	+	t7
						+	+	-	-	+	-	
						+	-	+	+	+	-	U <sub>ВЫХ</sub> =+2

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

1. Студент получает собственный код.
2. Студент узнает коды десяти членов своей группы.
3. Производится расчет пригодности своего кода для использования в системе связи. Для этого:
  - через свой приемник пропускаются символы кода, соответствующие передаче двух логических единиц;

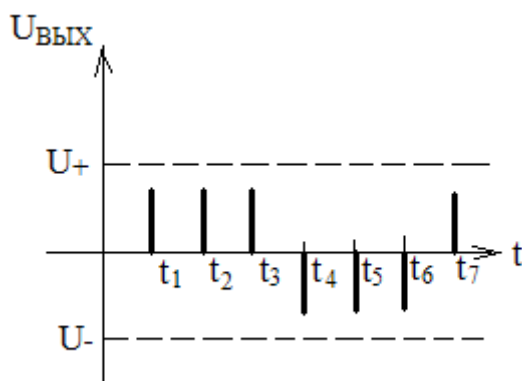


Рис. 3

- через свой приемник пропускаются символы кода, соответствующие передаче логических символов «1», «0». В первом случае должны наблюдаться два отклика, равные +18. Во втором случае должны наблюдаться два отклика, равные +18 и -18. В случае появления дополнительных откликов код, выданный студенту, изменяется.

4. Для отобранных десяти кодов студент пропускает для каждого кода через свой приемник последовательности символов, соответствующие передаче двух логических единиц. Отклики на них не должны выходить за пределы пороговых уровней. Коды тех студентов, сигналы которых вызвали отклики, выходящие за пределы пороговых уровней, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

5. Коды оставшихся студентов пропускаются через свой приемник, имитируя передачу логических символов «1», «0». И в этом случае отклики не должны выходить за пределы пороговых уровней. Студенты, чьи сигналы вышли за пределы уровней, также исключаются из рассмотрения.

6. Студентом делаются выводы, что с кодами оставшихся может быть организована совместная система связи.

Таблица 3.

Номер задания	Код	Номер задания	Код
1.	147205	26.	512450
2.	712613	27.	341241
3.	360754	28.	525316
4.	275540	29.	165601
5.	67521	30.	152325
6.	035125	31.	442610
7.	561373	32.	106173
8.	255022	33.	243652
9.	625371	34.	325431
10.	164717	35.	145753
11.	163210	36.	132237
12.	443163	37.	317223
13.	105752	38.	136074
14.	307622	39.	215172
15.	526023	40.	155471
16.	742266	41.	212631
17.	463243	42.	332116
18.	745106	43.	421313
19.	423521	44.	141712
20.	154735	45.	171022
21.	317351	46.	414301
22.	265326	47.	176024
23.	413173	48.	075342
24.	351334	49.	261047
25.	126543	50.	

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.

1. Рассказать о назначении блоков структурной схемы приемника.
2. Что будет, если пороговые уровни выбрать слишком большими?
3. Что будет, если пороговые уровни выбрать слишком малыми?
4. Можно ли выбирать коды с периодически повторяющимися группами символов внутри общей группы длиной  $N$ , и, если нет, то почему?
5. Почему нельзя выбирать длину группы  $N$  исключительно большой несмотря на возможность значительного повышения помехоустойчивости передачи сигналов при этом?
6. Преимущества CDMA перед методом частотного разделения каналов?
7. Преимущества CDMA перед методом временного разделения каналов?
8. \*Нарисовать возможную структурную схему, формирующую на передающей стороне сигналы CDMA.
9. \* Как будет выглядеть схема приемника при использовании недвоичных цифровых сигналов?

Таблица 4.

Число в восьмеричной системе	Число в двоичной системе	Код
0	000	-1, -1, -1
1	001	-1, -1, +1
2	010	-1, +1, -1
3	011	-1, +1, +1
4	100	+1, -1, -1
5	101	+1, -1, +1
6	110	+1, +1, -1
7	111	+1, +1, +1

Таким образом, например, число восьмеричной системе, равное 730123 обозначает код: +1,+1,+1,-1,+1,+1,-1,-1,-1,-1,-1,+1,-1,+1,-1,-1,+1,+1.