



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ ИМЕНИ  
ГУМАРБЕКА  
ДАУКЕЕВА**

Кафедра  
телекоммуникаций и  
инновационных  
технологий

## **ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

Методические указания к выполнению курсовых работ  
для студентов ОП  
6В6201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Алматы 2022

Составители: Т.А. Павлова, М.А. Хизирова. Теория электрической связи. Методические указания к выполнению курсовых работ для студентов ОП 6В6201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АУЭС, 2022. –18 с.

Данная разработка предназначена для студентов всех форм обучения ОП 6В6201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

В методических указаниях содержатся общие положения выполнения курсовой работы по теории электрической связи. Приводятся задания и индивидуальные исходные данные для вариантов курсовой работы, методические указания к выполнению заданий курсовой работы, требования к ее содержанию и оформлению, список рекомендуемой литературы.

Ил. 8, табл. 9, библиогр. – 5 назв.

Рецензент: профессор, к.т.н.

Сатимова Е.Г.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2022 г.

## Введение

История развития человеческого общества постоянно связана с обменом сведениями и всем тем, что мы сегодня называем информацией между отдельными людьми и их сообществами.

Практические потребности техники связи, связанные с ее усложнением и проблемой борьбы с помехами, привели к появлению в 40-х годах науки о передаче информации на расстояние – теории электрической связи. Именно теория электрической связи указывает перспективные направления развития техники электросвязи.

Последние годы отмечены не только интенсивным развитием волоконно-оптических систем связи, но и заметным развитием систем радиосвязи. Помимо традиционных радиорелейных и спутниковых систем радиосвязи быстро развиваются сети мобильных цифровых сотовых систем радиосвязи. Разработки систем связи последнего времени используют не только возможности современных технологий, но и достижения современной теории связи, позволяющие повысить не только объемы передаваемой информации, но и качество передачи сообщений (верность связи).

В системах электрической связи имеют место различные преобразования сигналов. Одним из важнейших преобразований сигналов является *модуляция* – изменение параметров некоторого сигнала-переносчика (несущего сигнала) по закону изменения мгновенных значений первичного информационного сигнала (модулирующего сигнала). Так образуется на выходе модулятора модулированный сигнал, способный с лучшим качеством передаваться по заданной линии связи.

Знание принципов и способов преобразования сигналов, классических видов модуляции необходимо специалисту по электро- и радиосвязи не только на стадии разработки систем связи, но и при их эксплуатации, так как позволяет правильно организовать борьбу с помехами для достижения требуемого качества и скорости передачи информации. Вопрос выбора вида модуляции и вида несущего сигнала для системы связи решается с точки зрения способности вида модуляции обеспечить заданное качество передачи сообщений (по верности и скорости передачи) при наличии помех, а также с точки зрения эффективности прохождения сигнала по линии связи (по каналу), простоты операций модуляции и демодуляции.

В настоящее время сигнал, несущий информацию, передается по системе связи, в основном, в цифровой форме, и бурное развитие цифровых технологий во многом изменило само понятие «радиотехника». Цифровая форма сигнала обеспечивает более высокую его помехоустойчивость, а также более эффективные способы обработки сигнала. Необходимо выполнить несколько операций для преобразования аналогового сигнала (например, речевого) в цифровой сигнал: дискретизацию, квантование и кодирование. Цифровым сигналом также можно модулировать несущее колебание и передать сигнал по системе связи, которую проектируют исходя из способов

модуляции, приема сигналов, а также требований максимальной помехоустойчивости системы связи.

Целью данного методического указания к выполнению курсовой работы является обобщение и закрепление теоретического материала по вопросам модуляции, а также аналого-цифрового преобразования сигналов в системах связи и построению систем связи. Данный материал изложен в учебной литературе по электро- и радиосвязи, однако рекомендуется решать вышеуказанные задачи с учетом опыта чтения лекций по дисциплине «Теория электрической связи» для студентов направления «Радиоэлектроника и телекоммуникации».

## **1 Общие положения по выполнению курсовой работы**

### **1.1 Основные требования к курсовой работе**

Оформление курсовой работы должно отвечать следующим основным требованиям:

- объем не должен превышать 30 рукописных листов стандартного формата А4 (210×297 мм);
- текст должен быть набран на компьютере или написан четко без помарок и исправлений с надлежащей расстановкой знаков препинания;
- чертежи выполняются на компьютере или миллиметровой бумаге черной пастой, карандашом или на кальке – тушью, должны иметь название и номер, проставляемый под рисунком;
- таблицы рассчитанных или заимствованных величин должны иметь нумерацию и названия, написанные сверху справа каждой таблицы.

### **1.2 Порядок оформления курсовой работы**

Каждая курсовая работа должна содержать следующие разделы:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- общее задание;
- исходные данные по вариантам;
- отдельные главы соответственно общему заданию;
- заключение;
- список литературы.

Курсовая работа оформляется в соответствии с правилами оформления курсовых работ.

Текст общего задания переписывается полностью, из данных выбирается тот вариант, который соответствует последним двум цифрам номера зачетной книжки, и выписываются все исходные данные, касающиеся выполнения задания в соответствии с методическими указаниями. Указывается также фамилия студента и номер ID-карты.

## 2 Задание на выполнение курсовой работы

Цели курсовой работы:

- 1) Выработать критерии кодирования и модуляции, а также вычислить отклик физической системы на известное входное воздействие.
- 2) Найти спектральное разложение ИКМ сигналов.
- 3) Изучить простейшие виды ИКМ сигналов. Получить дискретный амплитудно-модулированный, дискретный частотно-модулированный, дискретный фазомодулированный сигналы и сигнал с относительной дискретной фазовой модуляцией согласно своему варианту.
- 4) Получить знания основ помехоустойчивого кодирования.
- 5) Дать математическое описание канала. Синтезировать оптимальный или неоптимальный демодулятор согласно своему варианту.

### 2.1 Техническое задание

Задания к курсовой работе включают 100 вариантов. Номер варианта выбирается в соответствии с двумя последними цифрами номера ID-карты.

Заданы:

$F_{\epsilon}$ ,  $KГц$  – верхняя частота в спектре сигнала,  $M$  – количество уровней квантования,  $N$  – количество каналов, вид модуляции и способ приема.

Требуется:

- а) описать структурную схему системы связи для заданного вида модуляции и способа приема;
- б) предполагая, что передаваемый информационный сигнал является аналоговым с шириной спектра  $F_{\epsilon}$ , описать преобразования, которым он подвергается в АЦП при переходе к цифровому ИКМ сигналу (число уровней квантования  $M$ , код двоичный);
- в) продискретизировать по времени, проквантовать по уровню и оцифровать заданный аналоговый сигнал (в качестве положительного импульса взять число, равное двум последним цифрам ID-карты, а в качестве отрицательного символа взять половину выбранного числа) шаг квантования равен  $\Delta=2$  у. е.. Построить соответствующие временные диаграммы;
- г) закодировать полученные кодовые комбинации помехоустойчивым циклическим кодом, исправляющим однократную ошибку ( $t_{испр.}=1$ );
- д) проверить правильность построения кодовой комбинации циклического кода  $F(0,1)$ ;
- е) составить таблицу синдромов циклического кода;
- ж) проверить, будет ли исправлена однократная ошибка в  $i$ -м разряде кодовой комбинации циклического кода;
- з) построить структурную схему кодера циклического кода;
- и) определить тактовый интервал  $T_T$ , длительность единичного элемента кодовой комбинации и скорость передачи информации ИКМ сигнала в  $N$ -канальной цифровой системе передачи;
- к) определить полосу пропускания канала системы связи;

л) привести структурные схемы модулятора и демодулятора в соответствии с заданным видом модуляции и способом приема. Записать алгоритмы их работы. Нарисовать соответствующие осциллограммы в каждой точке схемы;

м) сделать выводы по работе.

Исходные данные приведены в таблицах 2.1–2.3.

Т а б л и ц а 2.1

Предпоследняя цифра номера варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F_c, \text{КГц}$	25	5	20	600	20	10	35	3	15	100
$M$	128	128	256	512	256	128	256	512	512	128

Т а б л и ц а 2.2

Последняя цифра номера варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N$	1	3	6	8	10	20	18	15	17	13

Т а б л и ц а 2.3

Последняя цифра номера варианта	Вид модуляции и способ приема
1	ДЧМ, оптимальный когерентный прием (корреляционная схема)
2	ДАМ, оптимальный когерентный прием (корреляционная схема)
3	ДЧМ, оптимальный когерентный прием (схема на СФ)
4	ДОФМ, неоптимальный когерентный прием (схема сравнения полярности)
5	ДЧМ, оптимальный некогерентный прием (схема на СФ)
6	ДОФМ, оптимальный некогерентный прием (схема на АФ)
7	ДОФМ, оптимальный некогерентный прием (схема на СФ)
8	ДЧМ, неоптимальный некогерентный прием
9	ДФМ, неоптимальный когерентный прием
0	ДОФМ, неоптимальный некогерентный прием (схема сравнения фаз)

Таблица 2.4

Предпоследняя цифра номера варианта	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Номер ошибочного разряда $i$	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4

## 2.2 Методические указания

### 2.2.1 Общее понятие о модуляции. Виды модуляции.

Первичные сигналы, поступающие из источника сообщений (микрофон, передающая телевизионная камера и т. п.), как правило, не могут быть непосредственно переданы по радиоканалу или оптическому каналу, так как являются низкочастотными.

Чтобы осуществить эффективную передачу сигналов в какой-нибудь направляющей среде, необходимо использовать сигналы, соответствующие параметрам этой среды. Как правило, необходимо перенести спектр сигналов, содержащих сообщение из низкочастотной области в область высоких частот, тех частот, которые способны распространяться в данной среде наилучшим образом. Эта процедура переноса получила в радиотехнике название *модуляции*.

Для осуществления модуляции в передатчике формируется вспомогательный высокочастотный сигнал, называемый *несущим колебанием*  $u(t)$ .

*Модуляция* – это процесс изменения одного или нескольких параметров несущего колебания по закону изменения мгновенных значений первичного информационного (модулирующего) сигнала, воздействующего на него.

В подавляющем большинстве случаев используется изменение одного из параметров несущего сигнала при постоянстве остальных его параметров.

Параметр несущего сигнала, изменяющийся во времени под воздействием модулирующего сигнала, называется *информационным*, так как в его изменении заложено передаваемое сообщение, несущее информацию. Первичный информационный сигнал  $s(t)$  является *модулирующим сигналом*, устройство, осуществляющее модуляцию – *модулятором*. Вторичный сигнал, полученный в результате модуляции несущего сигнала – *модулированный сигнал*  $u_{\text{мод}}(t)$ .

Любой модулятор (рисунок 2.1) имеет два входа и один выход. Здесь:  $s(t)$  – первичный, информационный (модулирующий) сигнал, несущий сообщение (информацию);  $u(t)$  – несущее колебание (сигнал-переносчик), параметры которого соответствуют параметрам линии (канала);  $u_{\text{мод}}(t)$  – модулированный ВЧ сигнал.

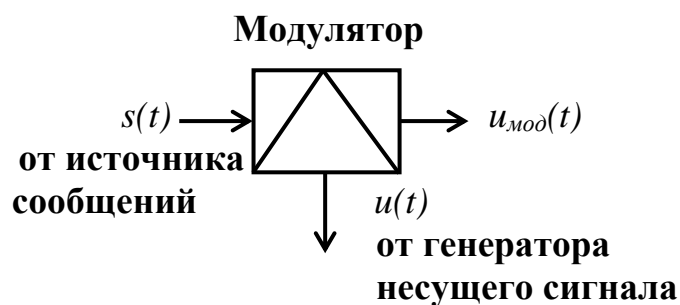


Рисунок 2.1 – Структурная схема модулятора

Таким образом, назначение модуляции с информационной точки зрения – введение передаваемого сообщения, несущего информацию, в несущий сигнал, соответствующий параметрам линии (канала).

Кроме того, главной особенностью любой модуляции является преобразование спектра информационного модулирующего сигнала в процессе модуляции, из-за чего модуляторы часто называют преобразователями частоты. В общем случае происходит расширение спектра, а при гармоническом несущем сигнале спектр информационного сигнала переносится в область частот в окрестность частоты несущего сигнала (обычно из НЧ диапазона в ВЧ диапазон).

Модулированные сигналы и виды модуляции различаются по виду несущего сигнала и по модулируемому (информационному) параметру. Наиболее часто в качестве несущего сигнала используются:

- гармоническое колебание (при аналоговой и дискретной модуляциях);
  - периодическая последовательность видеоимпульсов (при импульсной модуляции).
- В таблице 2.4 дана общая классификация видов модуляции по виду несущего и модулирующего сигналов.

Т а б л и ц а 2.4 – Общая классификация видов модуляции

Вид модуляции	Вид модулирующего (информационного) сигнала $s(t)$	Вид несущего сигнала $u(t)$
Аналоговая	Аналоговый	Аналоговый (обычно гармонический)
Дискретная (цифровая)	Дискретный (двоичный или цифровой)	Аналоговый (обычно гармонический)
Импульсная	Аналоговый	Импульсный (обычно периодическая последовательность прямоугольных видеоимпульсов)



Даже при гармоническом несущем сигнале теоретически возможно бесконечное число видов модуляции. Практически в настоящее время в системах связи используются более пятидесяти видов модуляции, и число их продолжает расти. Это связано с тем, что различные виды модуляции имеют разную помехоустойчивость, ширину спектра и сложность реализации модуляторов и демодуляторов.

Вопрос выбора вида модуляции и вида несущего сигнала для системы связи решается с точки зрения эффективности прохождения сигнала по линии связи (по каналу) и простоты операций модуляции и демодуляции. При этом учитывается способность вида модуляции обеспечить заданное качество передачи сообщений (по верности и скорости передачи) при наличии помех.

С материалом по амплитудной (АМ), угловой (ЧМ и ФМ) модуляциям можно ознакомиться в литературе [5; с. 92–108; 6; с. 20, 25, 27].

2.2.2 Помехоустойчивость приема дискретных сигналов. Способы приема дискретных сигналов.

Под потенциальной помехоустойчивостью понимают предельно достижимую помехоустойчивость при заданных сигналах и видах помех. Ее нельзя превысить никакими способами обработки сигналов при существующей помехе в заданной системе связи.

Приемник, обеспечивающий максимальную (потенциальную) помехоустойчивость приема, называют оптимальным.

Помехоустойчивость приема дискретных сигналов оценивается вероятностью ошибки при приеме заданных сигналов. Он зависит от вида модуляции и от способа приема. Для передачи дискретных сигналов используют дискретную амплитудную (ДАМ), частотную (ДЧМ), фазовую (ДФМ), относительную фазовую (ДОФМ) модуляции.

Наибольшую потенциальную помехоустойчивость (возможную минимальную вероятность ошибки) дает система с ДФМ, затем идут системы с ДОФМ, ДЧМ, ДАМ. Использование ДФМ дает энергетический выигрыш по сравнению с ДЧМ в 2 раза (на 3дБм), а по сравнению с ДАМ – в 4 раза (на 6 дБм). ДОФМ использует преимущества ДФМ. Данный вид модуляции менее помехоустойчив, чем ДФМ, и более помехоустойчив, чем ДАМ. По сравнению с ДЧМ ДОФМ более помехоустойчива при малых помехах и менее помехоустойчива при сильных помехах.

ДЧМ используется при необходимости обеспечить помехоустойчивость в каналах с высоким уровнем помех, где ДОФМ и ДАМ дают меньшую помехоустойчивость. Используется чаще всего в радиоканалах с высоким уровнем помех при высокой скорости передачи.

Существуют два способа приема:

- когерентный, где при демодуляции используется информация о фазе принимаемого сигнала, а решения о принимаемом сигнале выносятся по мгновенным значениям напряжений сигнала;

- некогерентный, при котором сведения о фазе сигнала не используются, а решения о принимаемом сигнале выносятся по значениям его огибающей.

Эти способы приема могут использоваться для любых видов модуляции. Когерентные методы приема требуют значительного усложнения схем приемника для оценки фазы принимаемого сигнала. Поэтому здесь целесообразно использовать ДФМ, дающую наибольшую помехоустойчивость, а некогерентный прием лучше совмещать с ДАМ и ДЧМ, что упрощает схемы приемников и определяет менее жесткие требования к стабильности частоты сигнала.

В каналах различного типа есть ограничения на вид модуляции и способ приема. В каналах с быстрыми флуктуациями фазы и частоты неэффективно использовать ДФМ и ДЧМ (усложняются схемы приемников, что не окупается достигнутым при этом увеличением помехоустойчивости). Систему с ДФМ нельзя использовать при некогерентном приеме, так как при ДФМ информация заложена в изменении фазы сигнала, а при неизвестной или неопределенной фазе сигналов они неразличимы.

В каналах с неопределенной фазой сигнала на приеме приходится отказываться от применения когерентного метода приема даже в тех случаях, когда с помощью сложных устройств можно оценить начальную фазу принимаемого сигнала. При этом используют алгоритм приема, построенный в предположении, что начальная фаза принимаемого сигнала неизвестна, т. е. некогерентный способ приема.

Однако в каналах с медленными флуктуациями фазы путем ее оценки можно достаточно надежно предсказать ее на интервале анализа. При этом можно реализовать оптимальный когерентный прием, так как фаза изменяется достаточно медленно, и разности фаз между соседними единичными элементами практически сохраняются. Здесь вполне возможен когерентный прием с применением ДОФМ. То же и с ДЧМ в каналах с медленными флуктуациями частоты.

Оптимальный когерентный приемник ДЧМ сигналов является оптимальным в каналах с медленными флуктуациями фазы и частоты, позволяющими реализовать когерентность приема при требовании обеспечения высокой помехоустойчивости.

С материалом по ИКМ-модуляции можно ознакомиться в литературе [1; с. 33, с. 107–111; с. 196–226; 6; с. 9–11, 66–71, 80–82].

**Структурная схема простейшей системы связи** показана на рисунке 223.

Каждый элемент схемы выполняет определенную функцию. Устройство, преобразующее сообщение в сигнал, называется передающим, а устройство, преобразующее принятый сигнал в сообщение, – приемным.

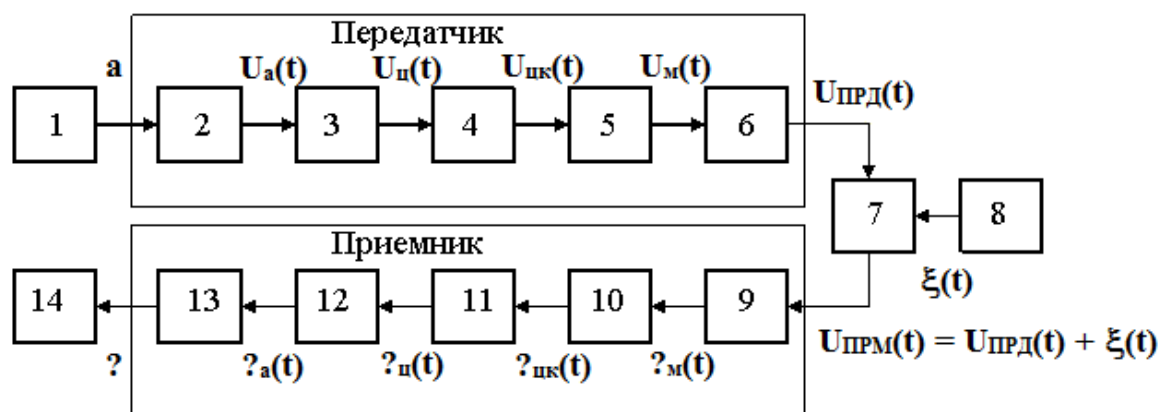


Рисунок 2.2 – Структурная схема системы связи

1 – источник сообщений  $a$ ; 2 – преобразователь непрерывных сообщений  $a$  в непрерывный аналоговый сигнал  $U_a(t)$ ; 3 – АЦП – аналого-цифровой преобразователь, преобразующий аналоговый первичный сигнал  $U_a(t)$  в цифровой  $U_u(t)$ ; 4 – кодер – для преобразования цифрового сигнала  $U_u(t)$  в кодовые комбинации циклического двоичного помехоустойчивого кода  $U_{ук}(t)$ ; 5 – модулятор – для преобразования первичного закодированного цифрового сигнала  $U_{ук}(t)$  во вторичный высокочастотный сигнал  $U_m(t)$ , лучше проходящий по линии связи. Это дискретный модулятор, в котором информация вкладывается в изменение параметра несущего гармонического сигнала, по закону изменения значений первичного, информационного цифрового сигнала  $U_{ук}(t)$ ; 6 – выходное устройство, формирующее сигнал  $U_{ПРД}(t)$ , включающее в большинстве случаев усилитель сигналов, полосовой фильтр, ограничивающий полосу частот сигнала для уменьшения помех взаимного влияния в различных каналах, согласующее устройство передатчика с линией связи; 7 – линия связи – физическая среда для передачи сигнала; 8 – источник помех  $\xi(t)$ , вызывающий отклонения принятых сигналов от переданных (к приемнику приходит не сигнал  $U_{ПРД}(t)$ , а сигнал  $U_{ПРМ} = U_{ПРД}(t) + \xi(t)$ ); 9 – входное устройство, производящее фильтрацию входного сигнала  $U_{ПРМ}$  для уменьшения уровня помех на входе демодулятора, усиление сигнала и согласование приемника с линией связи для получения сигнала  $\hat{U}_m(t)$ ; 10 – демодулятор, служащий для обратного преобразования принятого ВЧ сигнала  $\hat{U}_m(t)$  в первичный цифровой низкочастотный сигнал  $\hat{U}_{ук}(t)$ , несущий информацию (информационный сигнал выделяется из того параметра ВЧ сигнала, в который он был заложен при модуляции); 11 – декодер, который декодирует кодовые комбинации помехоустойчивого кода  $\hat{U}_{ук}(t)$  с целью обнаружения ошибок в ней  $\hat{U}_u(t)$  (циклический код сигнализирует о наличии двух ошибок в принятой кодовой комбинации и указывает местоположение одной ошибки); 12 – ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, который преобразует цифровой сигнал  $\hat{U}_u(t)$  в аналоговый сигнал  $\hat{U}_a(t)$ ; 13 – преобразователь аналогового сигнала  $\hat{U}_a(t)$  в сообщение  $\hat{a}$ ; 14 – получатель сообщений.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой сигнал в АЦП осуществляются последовательно три операции:

- дискретизация аналогового сигнала во времени, то есть замена исходного аналогового сигнала  $U_a(t)$  его дискретными отсчетами  $U_d(nT_d)$ , взятыми через интервал времени (интервал дискретизации  $T_d$ ), который выбирается согласно теореме Котельникова:  $T_d \leq 1/2F_e$ , где  $F_e$  – верхняя частота в спектре аналогового сигнала (для НЧ сигнала в спектре которого есть постоянная составляющая  $T_d \leq 1/2\Delta F$ , с, где  $\Delta F$  – ширина спектра сигнала, Гц);

- квантование дискретных отсчетов сигнала по амплитуде (по уровню),

т. е. замена значений дискретных отсчетов  $U_d(nT_d)$  на значение ближайших разрешенных уровней квантования –  $U_{кв}(nT_d)$ ;

- кодирование номеров уровней, соответствующих значениям квантованных отсчетов сигналов (кодирование заключается в замене квантованных отсчетов кодовыми комбинациями двоичного кода номера уровня квантования, которому соответствует значение квантованного отсчета).

Порядок преобразования сигнала из аналогового в цифровой приведен на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Преобразование сигнала из аналогового в цифровой

Импульсно-кодовый модулированный сигнал (ИКМ) – это последовательность  $K$ -разрядных кодовых комбинаций двоичного кода. Код симметричный двоичный. В нем 1-й элемент кодирует знак напряжения (полярность): положительное напряжение – «1», отрицательное напряжение – «0». Последующие  $(K-1)$  элементы кодируют информационный символ и определяются по номеру уровня квантования. Общее количество элементов (разрядов) кодовой комбинации определяется числом уровней квантования –  $M$  по формуле:  $K = \log_2 M + 1$ .

В реальных цифровых системах частоту дискретизации  $F_d$  выбирают большей, чем  $2\Delta F - F_d > 2\Delta F$ , для создания полосы расфилтровки в спектре дискретизованного АИМ сигнала, что облегчает восстановление аналогового сигнала по дискретным отсчетам на приемной стороне. Кроме того,  $F_d$  выбирают кратной частоте  $8 \text{ КГц}$  для унификации цифровых систем передачи.

Например, если  $\Delta F = 10 \text{ КГц}$ ,  $M = 512$ , то:

- частота дискретизации по формуле  $F_d > 2\Delta F$  равна  $2 \cdot 10 = 20 \text{ КГц}$ , а с учетом полосы расфилтровки и кратности  $8 \text{ КГц}$  частота дискретизации равна  $F_d = 24 \text{ КГц}$ ;

- интервал дискретизации (период, шаг дискретизации) определяется по формуле  $T_{\delta}=1/F_{\delta}$  и равен  $T_{\delta} = 1/24 \cdot 10^3 = 41,7 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 41,7 \text{ мкс}$ ;  
 длина кодовой комбинации с учетом знака полярности равна  
 $K = \log_2 512 + 1 = 10$  элементов.

1. Если в качестве импульса положительной полярности, который необходимо закодировать (соответствующего двум последним цифрам зачетной книжки) выбрано число 53, а в качестве импульса отрицательной полярности выбрано вдвое меньшее число, т. е. 26,5, то:

$$U_{\delta 1} = 53 \text{ у.е.} \quad U_{\delta 2} = -26,5 \text{ у.е.} \quad U_{кв1} = 52 \text{ у.е.} \quad U_{кв2} = -26 \text{ у.е.}$$

Кодовые комбинации номера уровней квантования соответственно равны:

52 у.е.: так как шаг квантования равен  $\Delta = 2 \text{ у.е.}$ , кодируем число 26.

$26_{10} = 11010_2$ , разрядность с учетом знака полярности равна 10, следовательно, кодовая комбинация имеет вид 1000011010;

-26 у. е.:  $\Delta = 2 \text{ у.е.}$ , кодируем число -13.

$13_{10} = 1101_2$ , дополняем полученное число знаковым символом и нулями для получения разрядности 10. Получим 0000001101.

Графические кодовые комбинации номеров уровней квантования показаны на рисунке 2.4.

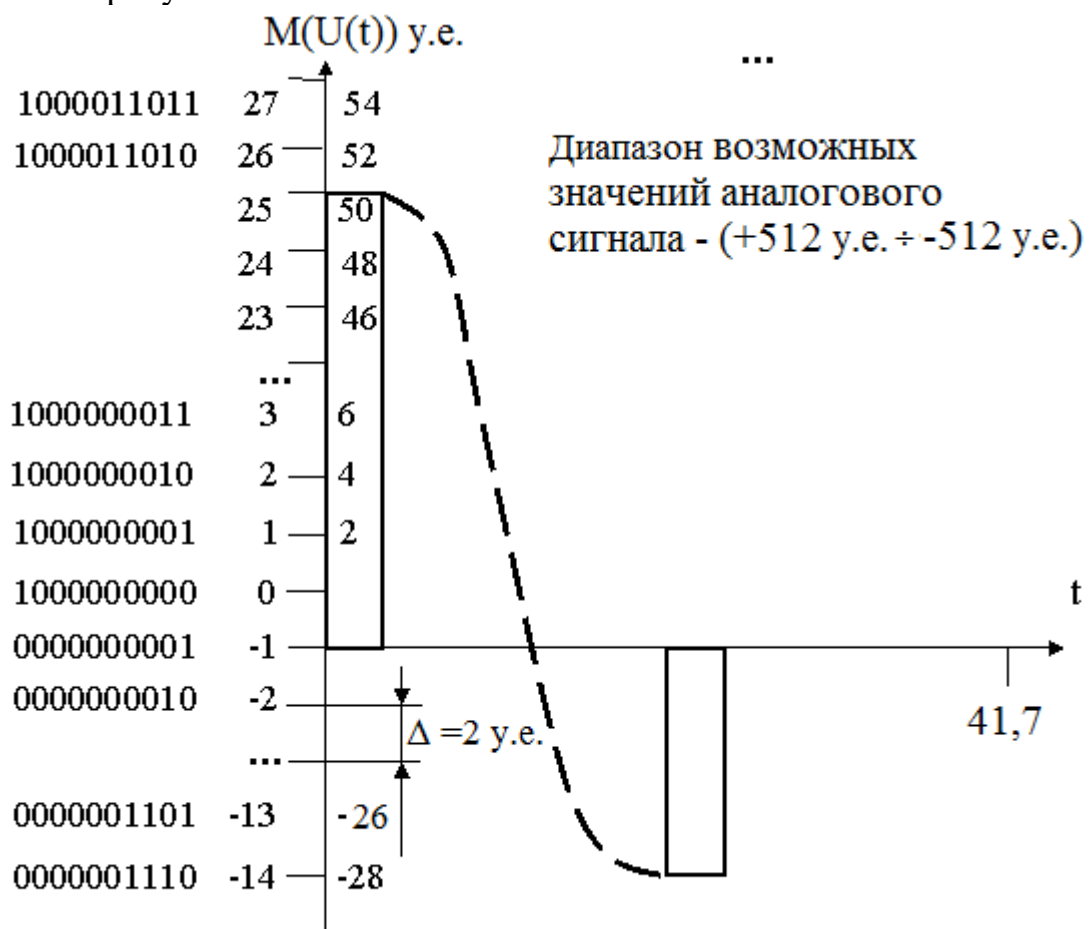


Рисунок 2.4 – Графическое изображение уровней квантования (уровни дискретизированного сигнала), которые необходимо закодировать

Изобразим временные диаграммы кодовых комбинаций в виде импульсов (1 – импульс есть, 0 – импульс отсутствует), как показано на рисунке 2.5.

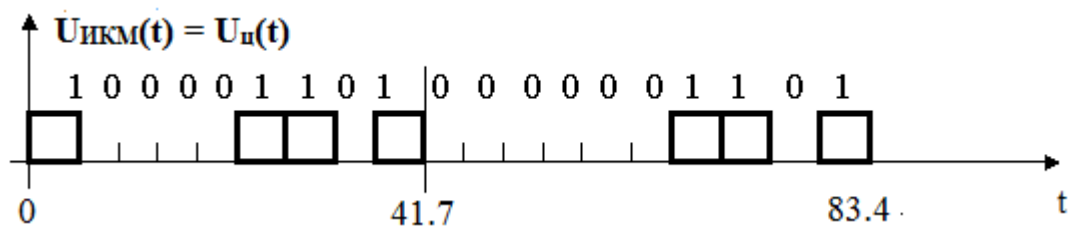


Рисунок 2.5 – Временные диаграммы кодовых комбинаций простого кода

2. С материалом по корректирующим кодам можно ознакомиться в литературе [5, с. 273–282; 6, с. 307–319; 7, с. 110–118, 123–124, 127–129].

**Циклические коды** относятся к классу линейных систематических кодов. Кодовые комбинации циклического кода удобно рассматривать в виде полинома некоторой степени:

$$F(x) = a_{n-1}x^{n-1} + a_{n-2}x^{n-2} + \dots + a_1x + a_0,$$

где

$x$  – основание системы счисления;

$a_i$  – цифры данной системы счисления;

$n - 1, n - 2, \dots$  – показатель степени, в которую возводится основание, и одновременно порядковые номера.

Минимальное кодовое расстояние связано с количеством исправляемых ошибок зависимостью:

$$d_0 = 2t_{испр} + 1.$$

Следует помнить, что только для кода с  $d_0 = 3$  известно точное соотношение для определения количества проверочных символов  $r$ : (6.9) [8], где  $n = k + r$ . Здесь  $k$  – длина кодовой комбинации простого кода (количество информационных символов),  $n$  – общая длина корректирующего кода. Это соотношение можно представить в виде:

$$2^r \geq r + k + 1.$$

Подбором определяется значение  $r$ , удовлетворяющее этому соотношению.

Величина  $r$  является также показателем степени образующего полинома, который можно выбрать из таблицы 18.1 [6, с. 316] или из таблицы 6.2 [7, с. 114].

Пункт 1 задания следует выполнять в последовательности.

Определить  $d_0$ , затем  $r$  и  $n$ , выбрать образующий полином и составить кодовую комбинацию циклического кода. Кодирование можно проводить как в алгебраическом, так и в цифровом виде. Кодирование циклическим кодом рассмотрено в примерах 18.5 [6] и 6.3 [7].

Правильность построения кодовой комбинации проверяется делением составленной комбинации на образующий полином. Если при делении получится ненулевой остаток, это говорит о неверном кодировании, т. е.

полученная кодовая комбинация относится к запрещенным комбинациям этого кода. Получение нулевого остатка (деление без остатка) говорит о верном кодировании, т. е. кодовая комбинация является разрешенной.

Построение производящей матрицы циклического кода рассмотрено в примере 6.9 [7].

Построение проверочной матрицы из производящей – материал [7, с. 121–122].

Построение матрицы синдромов производится транспонированием проверочной матрицы. В таблице 18.2 [6] приведена взаимосвязь между синдромом и искаженным символом циклического кода.

Проверка возможности исправления ошибки заключается во введении ошибки в заданный разряд кодовой комбинации, делении полученной комбинации на образующий полином, нахождении остатка и в определении соответствия полученного остатка (синдрома) синдрому кода при ошибке в этом разряде.

Схему кодера выполнять по типу (рисунок 6.9) в [7]. Описание принципа построения кодирующего устройства циклического кода приведено в [7,

с. 127–129]. Следует помнить, что число ячеек сдвигающего регистра и регистра задержек выбирается равным степени образующего полинома, а число сумматоров – на единицу меньше веса образующего полинома. Сумматоры по модулю два включаются перед ячейками, которые стоят на позициях единиц в образующем полиноме, за исключением старшего разряда. Например, если образующий полином  $P(x) = x^3 + x^2 + 1$ , что соответствует  $P(0,1) = 1101$ , тогда регистр сдвига должен иметь 3 ячейки (образующий полином 3-й степени), в него включаются два сумматора (так как вес образующего полинома  $W=3$ ), сумматоры включаются перед первой и третьей ячейками.

3. Длительность единичного элемента кодовой комбинации цифрового ИКМ сигнала с проверкой на четность определяется исходя из величин интервала дискретизации –  $T_j$  и длины кодовой комбинации кода с проверкой на четность  $n$ . Ее называют тактовым интервалом –  $T_{такт}$ , а частоту следования элементов – тактовой частотой –  $F_{такт}$ .

$T_{такт} = T_j/n, с; F_{такт} = 1/T_{такт}, Гц;$  или  $F_{такт} = nF_j, Гц$  и  $T_{такт} = 1/F_{такт}, Гц;$

$T_{такт} = 1/264 * 10^3 = 3,8 * 10^{-6} = 3,8 мкс; F_{такт} = 24 * 11 = 264 КГц.$

Примечания:

1) Структурная схема должна включать на передающей стороне: источник непрерывных сообщений, преобразователь сообщения в аналоговый сигнал, устройства преобразования аналогового сигнала в цифровой ИКМ сигнал, модулятор, фильтр и устройства обратного преобразования на приемной стороне.

2) Определить интервал дискретизации  $T_d$  сигнала, верхнюю частоту спектра аналогового сигнала взять равной  $F_b$ , квантование равномерное, код – двоичный симметричный.

3) Учесть использование одного канального интервала для передачи синхросигнала.

4) Составить кодовые комбинации цифрового ИКМ сигнала в соответствии с заданным числом уровней квантования  $M$ . Уровень сигнала равен номеру своего варианта с положительным знаком (две последние цифры зачетной книжки) и половине номере варианта с отрицательным знаком. В случае превышения номера варианта над заданным количеством уровней квантования взять отсчеты, соответствующее уровням номера половины и четверти номера варианта.

5) Полоса пропускания канала определяется исходя из ширины спектра модулированного сигнала:

$$F_{\text{дам}} = F_{\text{дофм}} = 2/T; F_{\text{дчм}} = 4/T;$$

где  $T$  – длительность единичного элемента.

б) Отдельно нарисовать более подробные схемы модулятора и демодулятора в соответствии с заданным видом модуляции и способом приема. Записать алгоритмы их работы. Нарисовать осциллограммы и спектральные диаграммы сигналов в каждой точке схемы модулятора и демодулятора.

### **Контрольные вопросы**

1. Для каких целей используется модуляция в системах связи?
2. Какое приемное устройство называют оптимальным?
3. Что понимают под алгоритмом работы приемника (решающей схемой)?
4. Поясните смысл критерия идеального наблюдателя (Котельникова) при передаче дискретных сообщений.
5. Что понимают под потенциальной помехоустойчивостью системы?
6. В чем заключается явление «обратной работы», наблюдаемое в системах ФМ?
7. Почему в системах ОФМ можно успешно бороться с явлением «обратной работы»?
8. Какой схемой осуществляется оптимальный когерентный прием сигналов ОФМ и как определяется вероятность ошибочного приема в этой схеме при учете флуктуационного шума в канале?
9. Как можно записать алгоритм оптимального некогерентного приема дискретных сообщений при неопределенной фазе сигнала?
10. Как определяется вероятность ошибки при оптимальном приеме сигнала ОФМ и неопределенной фазе?
11. Поясните возможности повышения качества систем связи (особенно в каналах с замиранием) за счет разнесенного приема.



## Список литературы

1. Оптимальный прием сигналов на фоне помех и шумов. Под ред. Савватеева Ю.И. – М.: «Радиотехника», 2011.
  2. Балашов В.А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами. – М.: «Эко-трендз», 2012.
  3. Братко А.И., Автоматизированные системы управления и связь: основы электросвязи: учеб. пособие / А.И. Братко. – М : ИНФРА-М, 2021. – 332 с.
  4. М.А. Хизирова, У. Шугайып. «Теория электрической связи» для специальностей РЭТ: учебное пособие. – Алматы, НАО АУЭС, 2017. – 90 с.
- Дополнительная:**
5. Скляр Б. Цифровая связь. – М., С-П, К., 2003.
  6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2003.
  7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002.
15. Теория электрической связи. Под редакцией профессора Д.Д. Кловского – М.: «Радио и связь», 1999.
  16. Панфилов И.П., Дырда В.Е. Теория электрической связи – М.: «Радио и связь», 1991.
  17. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи: Сборник задач и упражнений – М.: «Радио и связь», 1990.
  18. Румянцев К.Е. Прием и обработка сигналов. – М.: «Радио и связь», 2006.
  19. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов. – М.: Высшая школа, 2006.
  20. Борисов В.И., Зинчук В.М. Помехозащищенность систем радиосвязи. – М.: Высшая школа, 2008.
  21. Биккенин Р.Р. Теория электрической связи. – М.: «Академия», 2010.
  22. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей. – СПб., 2010.
  23. Ушаков П.А. Цепи и сигналы электросвязи. – М.: «Академия», 2010.
  24. Акуличев Ю.П. Теория электрической связи. – СПб., 2010.

## Содержание

Введение	3
1 Общие положения по выполнению курсовой работы	4
2 Задания для выполнения курсовой работы	5
Список литературы	17

Павлова Татьяна Александровна  
Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна

## ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Методические указания к выполнению курсовых работ  
для студентов ОП  
6В6201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Редактор  
Специалист по стандартизации

Жанабаева Е.Б.  
Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать \_\_\_\_\_  
Тираж 50 экз.  
Объем 1,0 уч.-из. л.

Формат 60×84 1/16  
Бумага типографская № 1  
Заказ \_\_\_\_\_ цена 500 тг.

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи»  
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1