

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
Кафедра телекоммуникационных сетей и систем

«Утверждаю»  
Проректор по АД  
\_\_\_\_\_ С.В. Коньшин  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 ж.

**ОСНОВЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ  
для студентов специальности  
5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

СОГЛАСОВАНО  
Начальник УМО  
\_\_\_\_\_ Мухамеджанова. Р.Р.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Рассмотрено и одобрено  
на заседании каф.ТКСи С  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2019г  
Зав. каф. \_\_\_\_\_  
Э.К.Темырканова.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Начальник УМС  
\_\_\_\_\_ Курпенов .Б.К.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Редактор

Составители: \_\_\_\_\_ Г.С.Казиева

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.  
Специалист по стандартизации

\_\_\_\_\_ 2019 г.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

\_\_\_\_\_ Хизирова М.А.



**Некоммерческое акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

Кафедра «Телекоммуникационные  
системы и связи»

## **ОСНОВЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ  
для студентов специальности  
5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Алматы 2019

СОСТАВИТЕЛИ: Казиева Г.С., Хизирова М.А. Основы телекоммуникационных систем. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов специальности 5В071900– Радиотехника, электроника и телекоммуникации – Алматы: АУЭС, 2019.-20 с.

В данной разработке приводятся основные формулы для расчета характеристик сигналов связи, применение теоремы Котельникова, характеристик информационного сигнала при пакетной передаче, методика расчета, требования к содержанию контрольного задания.

Ил. 10, табл.4. библиогр. – 5 назв.

Рецензент: ст.преп. кафедры СИБ Адилгажинова С.А.

Печатается по дополнительному плану издания Алматинского университета энергетики и связи на 2019 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2019 г.

## Введение

Современные системы связи представляют собой довольно сложные системы среди искусственных систем, которые удалось создать современной цивилизацией. Изучение таких систем требует мобилизации усилий во многих сферах интеллектуальной деятельности человека. Оттолкнемся от самого главного - системы связи призваны решать две основные задачи, традиционно актуальные для человечества:

– быстрое и качественное получение информации в требуемой форме из любой точки, либо ее доставка в любую сколь угодно удаленную точку назначения;

– автоматизация процессов обработки, накопления, хранения больших объемов информации и, наконец, автоматизация самого производства новой информации.

Решение этих задач является неизменным стимулом научно-технического прогресса в отрасли связи.

Программа курса и методические указания составлены в помощь студентам, изучающим курс «Основы телекоммуникационных систем».

Целью курса является изучение основных направлений «Основы телекоммуникационных систем»

Для освоения курса «Основы телекоммуникационных систем» необходимо использовать основные положения некоторых разделов физики, математики, теории линейных и нелинейных цепей, относящихся к распространению электромагнитных волн. Проработанный материал закрепляется выполнением расчетно-графической работы.

В методических указаниях приводятся 2 расчетно - графические работы, указывается список рекомендуемой литературы и дается перечень вопросов для самопроверки. Задание на контрольную работу составлены в 100 вариантах. Каждый студент должен выполнить контрольную работу по варианту, номер определяется двумя последними цифрами номера студенческого билета (цифрой десятков и цифрой единиц).

В конце работы необходимо перечислить использованную литературу.

По результатам расчета нужно сделать краткие выводы.

При определении зависимости одной величины от другой рекомендуется решить задачу в общем виде, подставить значения постоянных величин и определить значение неизменной части, а затем уже проводить вычисления при различных значениях переменной величины. Результаты в этом случае должны быть сведены в таблицу.

Графики необходимо выполнять карандашом на миллиметровой бумаге.

# Расчетно-графическая работа №1. Передача непрерывного сообщения от источника к получателю по дискретному каналу связи

Цель работы: преобразовать сообщения и сигналы в системе связи.

1. Обобщенная структурная схема системы связи приведена на рисунке 1.1.

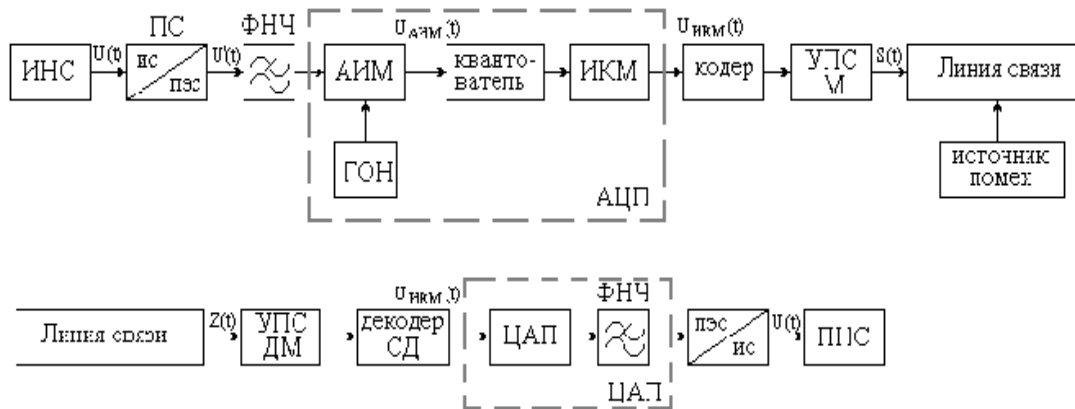


Рисунок 1.1 – Обобщенная структурная схема системы передачи непрерывных сообщений дискретных сигналов

Сообщение от источника непрерывных сообщений ИНС поступает на преобразователь сигнала, который преобразует исходное сообщение ИС в первичный электрический сигнал ПЭС  $U(t)$ . Спектр электрического сигнала  $U(t)$  перед дискретизацией подвергается ограничению до частоты  $F_B$ , фильтром нижних частот ФНЧ. Далее сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь АЦП, для преобразования непрерывного сигнала в цифровой сигнал.

Рабочее задание:

- 1) Преобразовать сообщения и сигналы в системе связи.
- 2) Исходные данные показаны на графиках 1.1 и в таблице 1.1.

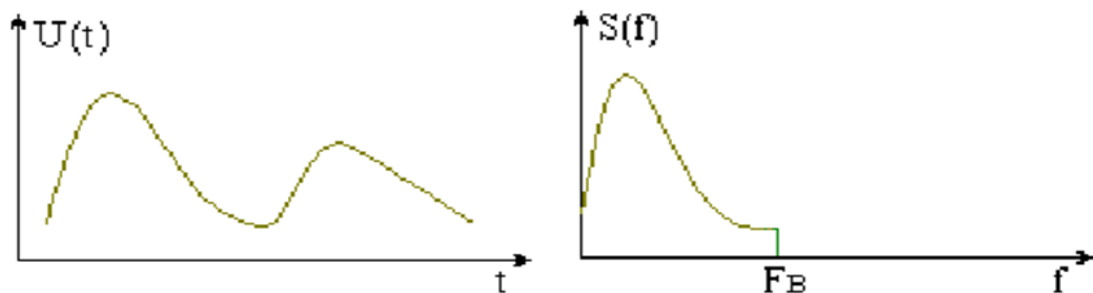


Рисунок 1.2 - Диаграмма сигнала на выходе источника непрерывного сообщения

Таблица 1.1 - Варианты заданий

Сумма двух последних зачетки цифр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сумма двух последних зачетки цифр	11	12	13	14	15	16	17	18	0	
N (отсчеты входного сигнала)	10	7	8	9	5	6	10	8	7,	6
$U_{MAX}$ ( В)	8	10	14	6	8	20	16	14	12	14
$F_B$ (кГц),	12	8	10	8	16	18	12	10	16	8
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Требуется:

1) Изобразить обобщенную структурную схему системы связи для передачи непрерывных сообщений дискретными сигналами, привести подробное описание назначения входящих в нее блоков. Преобразование сообщения и сигналов в системе связи проиллюстрировать (качественно) приведением временных и спектральных диаграмм для следующих точек тракта:

- на выходе источника непрерывного сообщения (сигнала);
- на входе преобразователя «аналог-цифра» (на выходе ФНЧ);
- дискретизированной последовательности (АИМ-сигнала, с учётом заданных значений  $U_{max}$ ,  $F_B$  и  $k$ );
- выходе АЦП (последовательность чисел, соответствующих отсчётам входного сигнала - для заданных  $U_{max}$  и  $n$ ).

2) Описать временные и спектральные диаграммы.

Найти величину шага квантования  $\Delta U_{кв}$  и дисперсию шума квантования  $\sigma_{кв}^2$ .

Методические указания к решению расчетно – графической работы №1.  
Пример1.

Допустим, исходные данные:

$U_{MAX}=8$ В,	$F_B=15$ кГц,	$k=3$	$n=5$
----------------	---------------	-------	-------

Решение.

Допустим, исходный сигнал  $U(t)$  имеет произвольную форму и бесконечный спектр. Необходимо в соответствии с теоремой Котельникова ограничить спектр исходного сигнала частотой  $F_B$ .

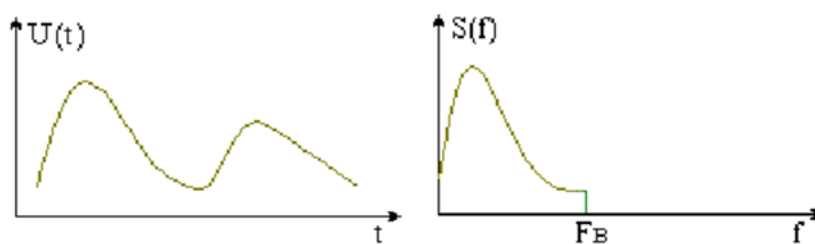


Рисунок 1.3 - Диаграмма сигнала на выходе источника непрерывного сообщения

Аналого-цифровое преобразование производится в три этапа:

1) Непрерывный сигнал представляется дискретными отсчетами  $U(k\Delta t)$  через равные временные интервалы равные,  $\Delta t$ , с помощью амплитудно-импульсного модулятора АИМ.

Для получения АИМ сигнала на входе модулятора подаются отсчетные импульсы  $\Delta t$  от генератора отсчетных импульсов ГОИ.

2) Полученные дискретные отсчеты  $U(k\Delta t)=U_{\text{АИМ}}(t)$  подвергаются квантованию по уровню. Вместо данного значения передаваемого сигнала  $U_{\text{АИМ}}(t)$  передаются ближайшие значения квантованных уровней, то есть приближенно округленных значений  $U_k$ .

3) Полученные квантованные значения представляются в виде последовательности  $m$  - значных кодовых комбинаций, посредством импульсно-кодовой модуляции ИКМ. На практике уровни квантования представляются в двоичной системе счисления.

После аналого-цифрового преобразования цифровой сигнал поступает на кодер, в котором последовательность кодовых символов дополнительно преобразуется, то есть в код вводится избыточность для улучшения помехоустойчивости.

Далее сигнал поступает на устройство преобразования сигнала УПС (модулятор), в котором передаваемая последовательность двоичных импульсов преобразуется в радиоимпульсы. Из УПС сигнал поступает в линию связи, где по прохождению ослабляется и на него накладываются помехи от источников помех.

На приемном конце в УПС (демодуляторе) происходит регенерация сигнала и обратные преобразования, из радиоимпульсов в последовательность двоичных импульсов.

В декодере восстанавливается из принятого сигнала  $m$  - значная кодовая последовательность, равная квантованным уровням.

Полученная кодовая последовательность подвергается цифро-аналоговому преобразованию ЦАП, то есть восстанавливается непрерывное сообщение в соответствии с принятыми последовательностями кодовых комбинаций.

ЦАП(цифро-аналоговое преобразование) производится в два этапа:

1) Кодовые комбинации преобразуются в квантованную последовательность отсчетов.

2) Сглаживающий фильтр ФНЧ восстанавливает непрерывный сигнал.

Далее восстановленный первичный электрический сигнал преобразуется в исходное сообщение, которое доставляется получателю непрерывного сообщения. Временные и спектральные диаграммы для точек, указанных в задании, приведены на рисунке 1.4.

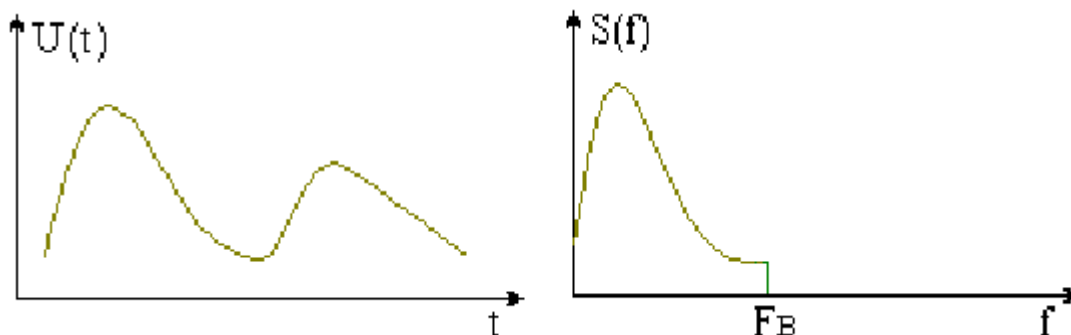


Рисунок 1.4 - Диаграмма сигнала на выходе ФНЧ

ФНЧ сглаживает исходный сигнал и ограничивает спектр исходного сигнала. Это ограничение вносит минимальные потери сигнала, так как в полученном спектре сосредоточено 90-95% мощности исходного сигнала.

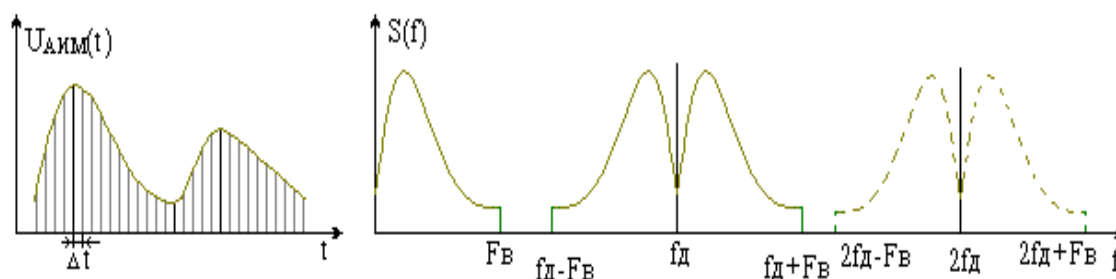


Рисунок 1.5 - Диаграмма сигнала на выходе АИМ

На вход АИМ поступают отсчетные импульсы с интервалом

$$\Delta t = 1/2F_{вк} = 1/2 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 3; \Delta t = 0,11 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

и спектром, расположенным на частоте дискретизации:

$$f_{д} \geq 2F_{в} \cdot k = 2 \cdot 15 \cdot 10^3 \cdot 3 = 90 \text{ кГц.}$$

Временная диаграмма АИМ сигнала представляет собой последовательность отсчетов, взятых через интервал времени  $\Delta t = 1/2F_{вк}$



(дискретизация осуществляется с интервалом в  $k$  раз меньше, по сравнению с шагом дискретизации, определенным теоремой Котельникова).

Спектральная диаграмма АИМ сигнала содержит ограниченный спектр исходного сигнала и спектры прямоугольных импульсов, поступающих с генератора отсчетных импульсов ГОИ на дискретизатор (верхние и нижние боковые полосы на частотах  $f_d$  и  $2f_d$ ).

Что происходит на выходе АЦП?

Каждый отсчет представляется  $m$  - значным кодом в двоичной системе счисления. Произведем ИКМ над отсчетами, равным  $U_{MAX}$ . Для этого необходимо рассчитать шаг квантования.

3) Определим шаг квантования для  $U_{MAX}=8$  В:

$$\Delta U_{KB} = U_{MAX} / N = U_{MAX} / 2^n,$$

где  $N$  - количество уровней квантования.

$$\Delta U_{KB} = 8 / 2^5 = 8 / 32 = 0,25 \text{ В.}$$

Дисперсия шага квантования:

$$\sigma_{KB}^2 = \Delta U_{KB}^2 / 12;$$

$$\sigma_{KB}^2 = 0,25 / 12 = 0,0052 = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ В}^2.$$

Для того чтобы закодировать уровень 8 В с шагом квантования 0,25 В, потребуется 6 разрядный двоичный код: кодируем 32-ой уровень квантования, так как  $N = 2^n = 2^5$   $U_K = U_{32} = 100000$ .

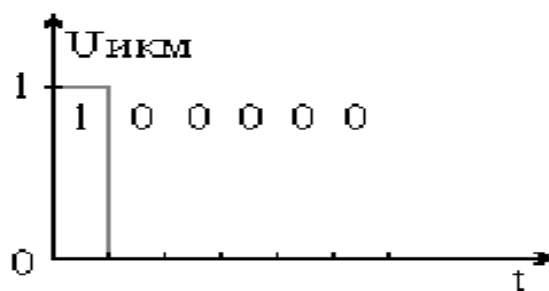


Рисунок 1.6 - Временная диаграмма для 32-го квантованного отсчета (спектр  $S(t)$  имеет в общем случае сложную форму)

В предположении, что сигнал сообщения имеет гармоническую форму частоты  $F_b$  и амплитуды  $U_{MAX}$ .

Требуется:

1) Изобразить временные диаграммы исходного сигнала (2, 3 периода) и дискретизированной последовательности для него при условии, что

дискретизация отсчётами производится с интервалом, в  $k$  раз меньшим по сравнению с шагом дискретизации, определяемым теоремой Котельникова.

2) Изобразить спектральные диаграммы исходного сигнала и дискретизированной последовательности.

3) Описать (с обоснованием) вид графиков временных и спектральных диаграмм на основе соответствующих теоретических положений.

Исходные данные:

$$U_{\text{MAX}}=8 \text{ В}, \quad F_B=15 \text{ кГц}, \quad k=3.$$

Решение.

1. Исходный гармонический сигнал имеет вид:

$$U(t)=U_m \sin 2\pi F_B t;$$

$$U(t)=8 \sin 2\pi \cdot 15 \cdot 10^3 t = 8 \sin 94,2 \cdot 10^3 t, \text{ В}$$

с периодом, равным:

$$T=1/F_B=1/15 \cdot 10^3=0,06 \cdot 10^{-3}=0,06 \text{ мс.}$$

Найдем нули  $U(t)$ :

$$\cos 2\pi F_B t=0;$$

$$\cos 2\pi F_B t=\pi/2, \text{ тогда } t=(\pi/2)/2\pi F_B=1/4F_B;$$

$$t=1/4 \cdot 15 \cdot 10^3=0,016 \cdot 10^{-3}=0,016 \text{ мс.}$$

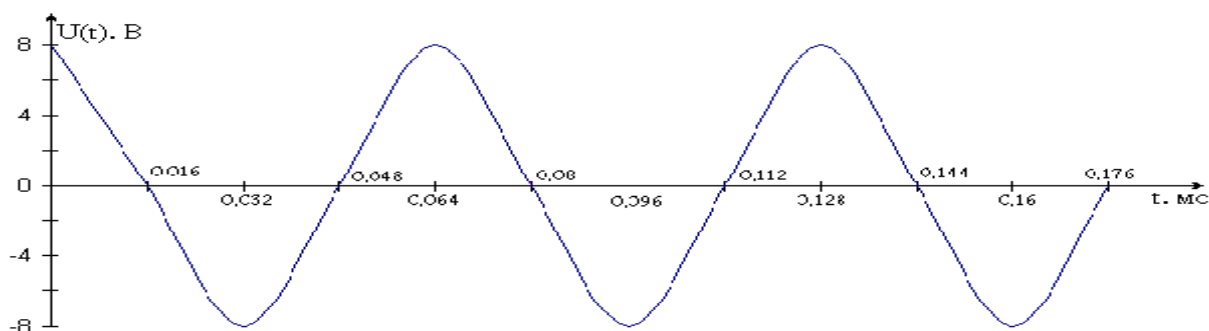


Рисунок 1.7 - Временная диаграмма исходного гармонического сигнала

Для получения АИМ сигнала рассчитаем шаг дискретизации:

$$\Delta t=1/2F_B k=1/2 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 10^3=0,011 \cdot 10^{-3}=0,011 \text{ мс.}$$



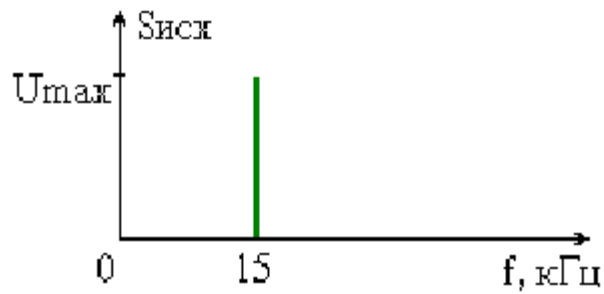


Рисунок 1.9 - Спектр исходного сигнала

Спектр отсчетных импульсов, поступающих на вход АИМ, расположен на частотах:

$$f_{\text{д}} \geq 1/\Delta t = 2kF_{\text{В}} = 6 \cdot 15 \cdot 10^3 = 90 \text{ кГц.}$$

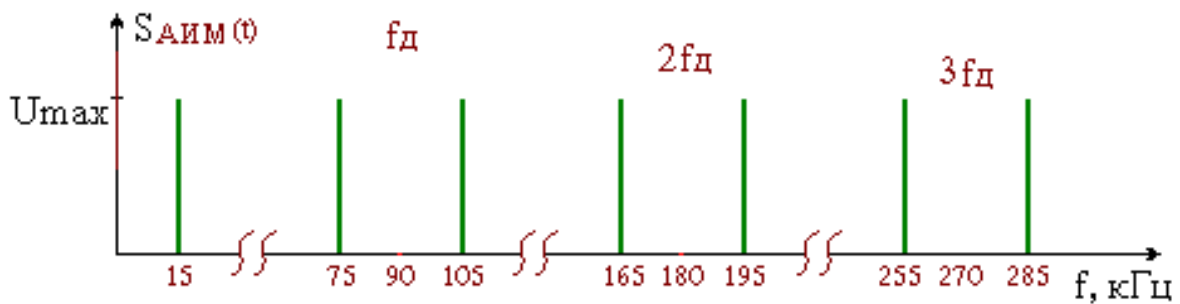


Рисунок 1.10 - Спектр дискретизированной последовательности

Спектр дискретизированной последовательности будет содержать (рисунок 1.10):

- а) спектральную линию исходного сигнала;
- б) спектральную линию периодичности отсчетных импульсов на частотах:

$$f_{\text{д}}, 2f_{\text{д}}, 3f_{\text{д}} \text{ и так далее;}$$

- в) спектральные линии на частотах:

$$f_{\text{д}} - F_{\text{В}} = 75 \text{ кГц (НБП);}$$

$$f_{\text{д}} + F_{\text{В}} = 105 \text{ кГц (ВБП);}$$

$$2f_{\text{д}} - F_{\text{В}} = 165 \text{ кГц (НБП);}$$

$$2f_{\text{д}} + F_{\text{В}} = 195 \text{ кГц (ВБП);}$$

$$3f_{\text{д}} - F_{\text{В}} = 255 \text{ кГц (НБП);}$$

$3f_d + F_B = 285$  кГц (ВБП) и так далее.

Задача.

1. В соответствии с дискретным преобразованием Фурье рассчитать и построить спектр заданного сигнала. Заданный сигнал представляет собой двоичную дискретную последовательность 11111000.

2. Выполнить восстановление исходного сигнала по найденному в пункте 1 спектру, для чего:

а) записать выражение для исходного сигнала в виде суммы гармонических составляющих (ряда Фурье);

б) изобразить график восстановленного сигнала для интервала времени, равного длительности одной выборки.

Решение.

1. Запишем прямое дискретное преобразование Фурье (ПДПФ):

$$C_n = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot e^{-j2\pi kn/N},$$

где  $N$  - общее количество отсчетов исходного сигнала длительностью  $T$ , взятых через интервал времени  $\Delta t$ , то есть  $N = T/\Delta t$  (для данной задачи  $N=8$ ).  
 $U(t) = 11111000$ ,  $N=8$ ;

$k$  - порядковый номер отсчета времени выборки изменяется в пределах от  $0 \leq k \leq N-1$  ( $0 \leq k \leq 7$ );

$n$  - порядковый номер отсчета в частотной выборке;

$X_k$  - абсолютное значение (величина)  $k$ -го отсчета;

$C_n$  - абсолютное значение (величина амплитуды)  $n$ -го отсчета в частотной области.

$$U(t) = \{X_k\}_{N=8} = (X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7)$$

$$1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0.$$

Подставляем в формулу, где  $C_0$  - постоянная составляющая для этой последовательности.

$$C_0 = 1/N \sum_{k=0}^{N-1} X_k = 1/8(1+1+1+1+1+0+0+0) = 1/8(5) = 0,625;$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 1/8(1+1e^{-j2\pi \cdot 1 \cdot 1/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 1 \cdot 2/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 1 \cdot 3/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 1 \cdot 4/8} + 0+0+0) = \\ &= 1/8(1+1e^{-j\pi/4} + 1e^{-j\pi/2} + 1e^{-j3\pi/4} + 1e^{-j\pi}) = 1/8(1+\cos(-\pi/4)+j\sin(-\pi/4)+ \\ &\quad +\cos(-\pi/2)+j\sin(-\pi/2)+\cos(-3\pi/4)+j\sin(-3\pi/4)+\cos(-\pi)+ \\ &\quad +j\sin(-\pi)) = 1/8(1+0,707-j0,707+0-j0,707-j0,707-1+0) = 1/8(-j2,414). \end{aligned}$$

Найдем модуль и фазу:

$$|C_1| = \sqrt{0^2 + (-2,414/8)^2} = 0,302;$$

$$\varphi_1 = \arctg |C_1| = \arctg(-2,414/0) = \arctg(-\infty) = -90^0.$$

$$\begin{aligned} C_2 &= 1/8(1 + 1e^{-j2\pi \cdot 2 \cdot 1/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 2 \cdot 2/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 2 \cdot 3/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 2 \cdot 4/8} + 0 + 0 + 0) = \\ &= 1/8(1 + 1e^{-j\pi/2} + 1e^{-j\pi} + 1e^{-j3\pi/2} + 1e^{-j2\pi}) = 1/8(1 + \cos(-\pi/2) + j \sin(-\pi/2) + \cos(-\pi) + \\ &+ j \sin(-\pi) + \cos(-3\pi/2) + j \sin(-3\pi/2) + \cos(-2\pi) + j \sin(-2\pi)) = 1/8(1 + 0 - j - \\ &- 1 + 0 + 0 + j + 1 - 0) = 1/8(1) = 1/8. \end{aligned}$$

$$|C_2| = \sqrt{(1/8)^2 + (0)^2} = 0,125.$$

$$\varphi_2 = \arctg |C_2| = \arctg(0/0,125) = \arctg(0) = 0^0.$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 1/8(1 + 1e^{-j2\pi \cdot 3 \cdot 1/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 3 \cdot 2/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 3 \cdot 3/8} + 1e^{-j2\pi \cdot 3 \cdot 4/8} + 0 + 0 + 0) = \\ &= 1/8(1 + 1e^{-j3\pi/4} + 1e^{-j3\pi/2} + 1e^{-j9\pi/4} + 1e^{-j3\pi}) = 1/8(1 + \cos(-3\pi/4) + j \sin(-3\pi/4) + \\ &+ \cos(-3\pi/2) + j \sin(-3\pi/2) + \cos(-9\pi/4) + j \sin(-9\pi/4) + \cos(-3\pi) + j \sin(-3\pi)) = \\ &= 1/8(1 - 0,707 - j0,707 + 0 + j + 0,707 - j0,707 - 1 + 0) = 1/8(-j0,414). \end{aligned}$$

$$|C_3| = \sqrt{0^2 + (-0,414/8)^2} = 0,052.$$

$$\varphi_3 = \arctg |C_3| = \arctg(-0,414/0) = \arctg(-\infty) = -90^0.$$

Остальные отсчеты найдем как комплексно сопряженные по Гильберту, то есть различия в их фазах на угол  $90^0$  при одинаковых амплитудах.

Получаем:

$$|C_4| = 0,052 \text{ и } \varphi_4 = 90^0;$$

$$|C_5| = 0,125 \text{ и } \varphi_5 = 0^0;$$

$$|C_6| = 0,302 \text{ и } \varphi_6 = 90^0;$$

$$|C_7| = 0,625 \text{ и } \varphi_7 = 0^0.$$

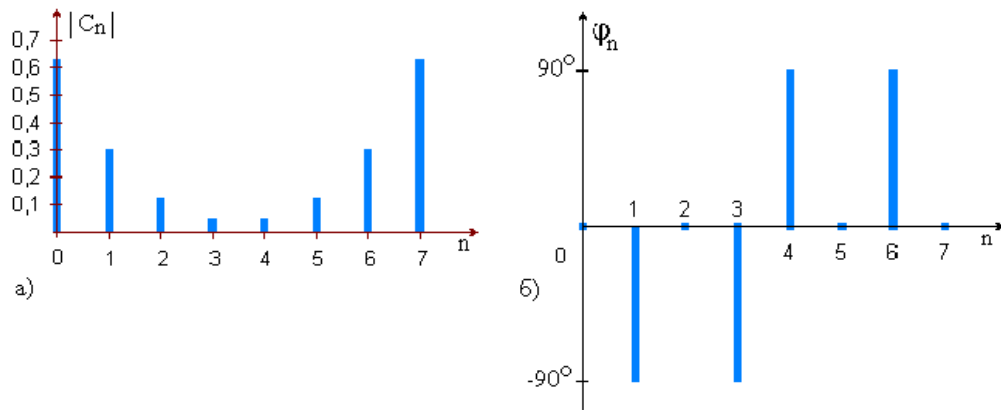


Рисунок 1.11 - Спектр амплитуд (а) и спектр фаз (б)

2. Восстановление исходного сигнала по найденному спектру.  
Исходный сигнал запишем в виде суммы гармонических колебаний:

$$U(t) = C_0 + 2|C_1| \cos(2\pi t/T + \varphi_1) + 2|C_2| \cos(4\pi t/T + \varphi_2) + 2|C_3| \cos(6\pi t/T + \varphi_3) + 2|C_4| \cos(8\pi t/T + \varphi_4).$$

Подставим полученные значения  $|C_n|$  и  $\varphi_n$  в формулу исходного сигнала, а результаты расчетов сведем в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 - Результаты расчетов

t/T	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
U(t)	1,23	1,072	0,968	0,968	1,072	0,979	0,164	-0,058	-0,058	0,164	0,979

По полученным данным строим график зависимости  $U(t)$  от  $t/T$ .

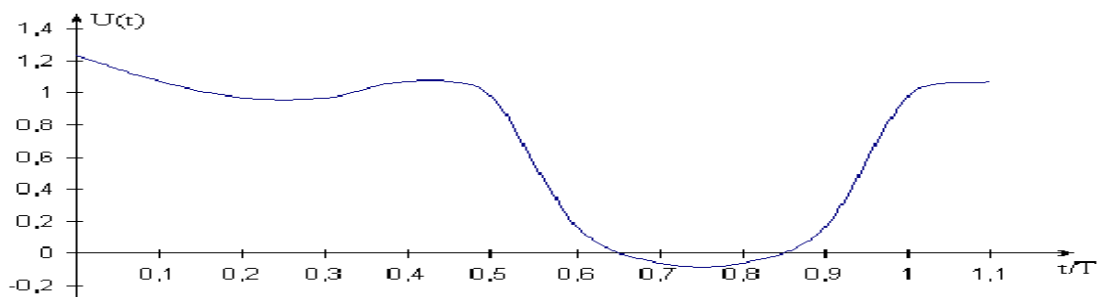


Рисунок 1.12 - График зависимости исходного сигнала от  $t/T$

Обработка результатов.

Сделать выводы.

Контрольные вопросы для расчетно – графической работы №1.

1. Объясните принцип восстановления исходного сигнала по спектру.
2. Объясните физический смысл преобразования Фурье.
3. Записать выражение для исходного сигнала в виде суммы гармонических составляющих (ряда Фурье).
4. Изобразить график восстановленного сигнала для интервала времени, равного длительности одной выборки.

### Расчетно - графическая работа №2. Исследование времени передачи пакета

Цель работы: провести расчет времени передачи пакета, применив MATLAB или другую программу.

Задание к контрольной работе.

В контрольной работе студент выполняет 1 задачу.

Варианты исходных данных для расчетов задаются преподавателем по таблицам 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 - Исходные данные

Вторая буква фамилии студента	АБВ	ГД Ж	ЗИ К	ЛМ Н	ОП Р	СТУ	ФХЦ	ЧЩ Ш	ЙЭ Ю	ЕЯЫ
Лсл	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Линф	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
$V_{\text{канала}}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
R k	1000	800	900	600	400	2000	1500	700	300	2500
m	60	40	50	30	20	100	70	35	15	150

Таблица 2.2 – Исходные данные

Первая буква фамилии студента	АБВ	ГДЖ	ЗИК	ЛМ Н	ОП Р	СТУ	ФХЦ	ЧЩ Ш	ЙЭ Ю	ЕЯ Ы
$L_{\text{и мин}}$ , бит	128	256	368	512	192	320	448	384	576	128
$L_{\text{и макс}}$ , бит	1200 0	1148 8	1097 6	1084 8	995 2	1008 0	1136 0	11232	1110 4	108 48
$R_{\text{и}}$ , Мбит/сек	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



В таблицах 2.1 и 2.2 обозначены переменные:

$L_{и\ мин}$  – минимальная длина информационной части пакета;

$L_{и\ макс}$  – максимальная длина информационной части пакета;

$L_{сл}$  – служебная часть пакета;

$R_k$  – пропускная способность тракта между коммутаторами;

$m$  – максимальное количество абонентов, установивших связь с коммутатором;

$R_{и}$  – скорость передачи данных от терминала.

Рассчитать:

а) время передачи при обслуживании пакетов;

б) коэффициент использования канала связи;

в) среднее время запаздывания пакета;

г) результирующую задержку при прохождении пакета.

Методические указания.

Время передачи при обслуживании пакетов:

$$\mu = t_{обсл} = \frac{(L_u + L_{сл})}{R_k}, \text{ сек.}$$

Коэффициент использования канала связи:

$$K_{исп} = \frac{m \cdot R_u}{2 \cdot R_k} \left( 1 + \frac{L_{сл}}{L_u} \right).$$

Среднее время запаздывания пакета:

$$m(T) = \frac{2 - K_{исп} - \frac{x}{1 - p + 2 \cdot x}}{2 \cdot (1 - K_{исп})} \cdot \mu, \text{ сек.}$$

Типичные значения вероятностей перехода равны  $p = 0,9$  и  $x = 0,3$ , что соответствует случаю, когда 60 % времени последовательность находится в состоянии 2 (оба собеседника молчат) или 3 (говорит один из собеседников), т.е. канал используется только на 40 %.

Результирующая задержка:

$$m(T_{\Sigma}) = m(T) + \delta_3 + \delta_{кодер}, \text{ сек.}$$

Задержка  $\delta_{кодер}$  (мс) численно равна  $R_{и}$  (Мбит/сек).

Задержка  $\delta_3$  равна:

$$\delta = \frac{(L_u + L_{cl})}{R_u}, \text{ сек.}$$

Определение оптимизации длины пакета при пакетной передаче.

Провести расчет оптимизации длины пакета при пакетной передаче, применив MATHAD или другую программу

Варианты исходных данных для расчетов задаются преподавателем по таблице 2.1, 2.2.

Рассчитать :

- а) оптимальную информационную часть пакета;
- б) оптимальное время запаздывания пакета.

Методические указания для расчета оптимизации длины пакета при пакетной передаче.

Для определения оптимальной длины пакета достаточно определить оптимальную длину информационной части пакета, т. к. служебная часть пакета данных является постоянной. Оптимальная длина пакета может быть найдена из решения уравнения:

$$\frac{dm(T_{\Sigma})}{dL_{II}} = 0$$

После выполнения необходимого преобразования оптимальная длина информационной части пакета определяется по формуле:

$$L_{\text{ИОПТ}} = L_{\text{СЛ}} \left[ \frac{k}{(1-k)} \right] (1+F),$$

где

$$k = \frac{m \cdot R_{II}}{2 \cdot R_k},$$

$$F = \sqrt{1 - \frac{1 - \frac{R_u}{2 \cdot R_k \cdot k} \cdot \left(\frac{1}{2} - k\right)}{1 + \frac{R_u}{R_k} \cdot \left(0,75 - \frac{k}{2}\right)} \cdot \frac{1}{1-k}}$$

Оптимальное время запаздывания определяется по формуле:

$$m(T_{\Sigma})_{Lu} = L_{OPT} = T_{L_{OPT}} = \frac{L_{CЛ}}{R_{II}} \cdot \left[ \frac{k \cdot (F+1)^2}{(1-k) \cdot F} \cdot \left( \frac{R_{II}}{R_k} \cdot \frac{(0,75-0,5 \cdot k)}{(1-k)} + 1 \right) \right] +$$

$$+ (F+1) \cdot \left( \frac{R_{II}}{R_k} \cdot \frac{(0,75-k)}{(1-k)} - \frac{k}{(1-k)} \right) - \frac{R_{II}}{2 \cdot R_k}.$$

По результатам исследований сделать выводы.

Обработка результатов.

Контрольные вопросы расчетно – графической работе №2.

1. Объясните оптимальное время запаздывания.
2. Объясните оптимальную информационную часть пакета.
3. Дать определения параметров: время передачи при обслуживании пакетов; коэффициент использования канала связи; среднее время запаздывания пакета; результирующую задержку при прохождении пакета.

## Список использованной литературы

1 Телекоммуникационные системы и сети. Современные технологии. Крук Б.И. и др. / digital library Bookfi | BookFi - BookFinder. Download books for free. Find books.

2 Алиев Т.И. Сети ЭВМ и телекоммуникации. - СПбГУ ИТМО, 2011-400 стр.

3 Гордиенко, В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы: Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, М.С. Тверецкий. - М.: ГЛТ, 2013. – 396 с.

4 Самуйлов К.Е. Сети и системы передачи информации: телекоммуникационные сети: Учебник и практикум для академического бакалавриата / К.Е. Самуйлов, И.А. Шалимов, Д.С. Кулябов. - Люберцы: Юрайт, 2016. – 363 с.

## Содержание

Введение.....	4
Расчетно-графическая работа №1. Передача непрерывного сообщения от источника к получателю по дискретному каналу связи.....	5
Расчетно- графическая работа №2. Исследование времени передачи пакета.....	10
Список использованной литературы.....	19

Казиева Галия Сейткамзаевна  
Хизирова Мухаббат Абдисаттаровна,

## ОСНОВЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ  
для студентов специальности  
5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Редактор Л.Т. Сластихина

Специалист по стандартизации Г.И. Мухаметсариева

Подписано в печать \_\_\_\_\_

Формат 60x84 1/16

Тираж 25 экз.

Бумага типографская №1

Объем 1.25 уч.- изд. лист

Заказ \_\_\_\_\_ Цена 625

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