

Федеральное агентство связи

**Государственное федеральное образовательное учреждение
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

**ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Самара

Федеральное агентство связи

**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования**

**«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и
информатики»**

Кафедра информационных систем и технологий

А.С.Овсянников

М.А.Бурова

ОСНОВЫ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Методические указания

САМАРА 2011

Лабораторная работа №1

“Исследование методов эффективного кодирования источников дискретных сообщений”

Цель работы

Изучить особенности и методы построения эффективных кодов и расчёт их информационных характеристик.

Литература

1. Овсянников А.С. Теория информационных процессов и систем: В 2 ч. Ч.1. Теоретические основы информационных процессов: Допущено Уч.-метод. объедин. вузов по политехн. образ. в качестве учебного пособия для студентов спец. 071900-“Информационные системы и технологии” Самарск.гос.арх.-строит.ун-т. Самара,2005. -100 с.
2. Передача дискретных сообщений: Учебник для вузов / Под ред. В.П.Шувалова.- М.:Радио и связь,1990, стр.146-155.

Содержание работы

1. Запустить программу SourceCode.
2. При включении программы автоматически задаётся дискретный источник с восемью дискретными сообщениями, при этом каждое сообщение задаётся вероятностью его появления на выходе источника. Совокупность сообщений источника ранжирована по убыванию вероятностей сообщений.
3. Выполнение лабораторной работы осуществляется в три этапа:
 - a. равномерное кодирование;
 - b. кодирование по методу Шеннона-Фано;
 - c. кодирование по методу Хаффмена.
4. При выполнении каждого этапа необходимо рассчитать численные значения информационных характеристик исследуемых методов кодирования. Результаты расчётов вносятся в соответствующие окна интерфейса программы с точностью до второй значащей цифры с соблюдением правил округления.
5. При ошибках в вычислениях программа выдаст соответствующие сообщения. Выполнить исправления в расчётах и повторить ввод данных. При трёхкратном вводе ошибочных данных программа возвращает выполнение работы в начало этапа.
6. При выполнении всех этапов работы программа выдаёт сообщение об успешном выполнении лабораторной работы.

Отчёт о выполненной работе

1. Сообщение программы об успешном выполнении лабораторной работы.

2. Расчётные формулы и рассчитанные численные значения информационных характеристик.
3. Выводы об особенностях, преимуществах и областях применения рассмотренных методов кодирования.
4. Правильный ответ на контрольный вопрос по заданию преподавателя.

Контрольные вопросы

1. В каких условиях целесообразно применять эффективное кодирование?
2. Преимущества и недостатки эффективных кодов.
3. До какого предела может быть уменьшена средняя длина кодовой комбинации эффективного кода?
4. Как определяется средняя длина кодовой комбинации эффективного кода?
5. Сущность кодирования по методике Шеннона-Фано.
6. Алгоритм кодирования по методу Хаффмена.
7. Какой эффективный код называется префиксным?
8. Дайте определение понятию избыточности кода (коэффициент статистического сжатия).
9. Что называется коэффициентом относительной эффективности?
10. Чему равна минимальная длина двоичных кодовых комбинаций для 32 буквенного алфавита, если буквы в тексте встречаются с равными вероятностями?
11. Алфавит источника содержит шесть сообщений, передаваемых независимо друг от друга с вероятностями: $P_1 = 0,4$; $P_2 = 0,3$; $P_3 = 0,1$; $P_4 = 0,08$; $P_5 = 0,07$; $P_6 = 0,05$. До какого предела может быть уменьшена средняя длина кодовой комбинации эффективного кода?
12. Первичный алфавит состоит из четырёх равновероятных символов. Рассчитать коэффициент относительной эффективности.
13. Какой код позволяет минимизировать среднюю длину передаваемой кодовой комбинации?

Краткая теория

Пусть задан дискретный стационарный источник без памяти вида

$$X = \left\| \begin{array}{ccc} x_1 & \dots & x_N \\ P(x_1) & \dots & P(x_N) \end{array} \right\|.$$

Под кодированием сообщений источника X будем понимать представление каждого сообщения источника X в виде кодовой последовательности (вектора) $y_j \in Y$ так, чтобы между i -м сообщением источника X и j кодовой последовательностью $\vec{y}_j \in Y$ существовало строго однозначное соответствие. При этом длина этой кодовой последовательности будет n_i , причем мощность источника Y равна $M < N$.

Возможно кодирование двух типов:

- 1) равномерное кодирование $n_i = n = \text{const}$;
- 2) неравномерное кодирование $n_i = \text{var}$.

Рассмотрим эти типы кодирования.

Пусть имеется источник вида

$$X = \left\| \begin{array}{cccccccc} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 \\ 1/4 & 1/4 & 1/8 & 1/8 & 1/16 & 1/16 & 1/16 & 1/16 \end{array} \right\|.$$

Здесь $M=2$ – объем (мощность) кодового множества (двоичный код).

Определим эти типы кодирования следующими условиями:

- 1) $n = \lfloor k \rfloor$ – ближайшее целое снизу, для которого выполняется неравенство $2^{\lfloor k \rfloor} \geq N$;
- 2) $n_i = \lceil \log_2(x_i) \rceil$.

Реализация процессов кодирования сведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1–Кодирование источника

x_i	$P(x_i)$	$I(x_i)$	$y^{(1)}$	$y^{(2)}$
x_1	1/4	2	000	00
x_2	1/4	2	001	01
x_3	1/8	3	010	100
x_4	1/8	3	011	101
x_5	1/16	4	100	1100
x_6	1/16	4	101	1101
x_7	1/16	4	110	1110
x_8	1/16	4	111	1111

Средняя длина кодового слова для каждого типа кодирования равна:

- 1) $\bar{n}_1 = n = 3$;
- 2) $\bar{n}_2 = \sum_{i=1}^8 n_i P(x_i) = 2 \cdot \frac{1}{4} + 2 \cdot \frac{1}{4} + 3 \cdot \frac{1}{8} + 3 \cdot \frac{1}{8} + 4 \cdot \frac{1}{16} + 4 \cdot \frac{1}{16} + 4 \cdot \frac{1}{16} + 4 \cdot \frac{1}{16} = 2.75$.

При кодировании источников сообщений существуют верхняя и нижняя границы эффективности кодирования сообщений дискретного источника, которые могут быть определены в виде следующей теоремы.

Теорема (о средней длине кодового слова)

При заданном ансамбле статистически независимых дискретных сообщений источника X , обладающего мощностью N и энтропией $H(X)$, можно так закодировать его сообщения с помощью множества кодовых символов источника Y , мощностью $M < N$, что среднее количество кодовых символов \bar{n}_i , приходящихся на одно сообщение источника X , будет удовлетворять неравенствам:

$$\frac{H(X)}{\log M} \leq \bar{n}_i < \frac{H(X)}{\log M} + 1.$$

Определим избыточность кода (способа кодирования) в виде

$$R_y = 1 - \frac{H(Y)}{H_0(Y)} = 1 - \frac{H(Y)}{\log M}.$$

С учетом уравнения информационного баланса имеет место равенство

$$H(X) = \bar{n}_i H(Y),$$

откуда информационная избыточность кода определяется в виде

$$R_y = 1 - \frac{H(X)}{\bar{n}_i \log M}.$$

Чем меньше \bar{n}_i или чем больше энтропия кодового символа, тем ниже избыточность кодового представления источника, а это достигается лишь в том случае, если распределение вероятности кодовых символов y_{ki} близко к равномерному.

Рассмотрим избыточность кодов в ранее приведенном примере.

Избыточность источника

$$R_x = 1 - \frac{H(X)}{\log N} \cong 10\%.$$

Для равномерного кодирования

$$R_{yPABH} = 1 - \frac{H(X)}{3 \log M} \cong 10\%.$$

Для неравномерного кодирования

$$R_{yHPPABH} = 1 - \frac{H(X)}{2.75 \log M} = 0\%.$$

Из теоремы о средней длине кодового слова следует, что наименьшей избыточностью обладают коды, у которых символы в каждой кодовой позиции имеют распределение вероятностей, близкое к **равномерному**.

Рассмотрим два основных метода эффективного кодирования, которые известны под названиями методов Шеннона–Фано и Хаффмена. Оба этих метода рассмотрим относительно случаев двоичного кодирования, т.е. $M=2$.

Метод кодирования источников Шеннона–Фано

Реализация этого метода осуществляется посредством выполнения следующих итеративных шагов:

- 1). Сообщения дискретного источника X ранжируются в порядке убывания вероятностей.
- 2). Из множества порядочных сообщений выделяются два непересекающихся подмножества, модуль разности вероятностей которых минимален. Одно из них кодируется “0”, другое “1”.
- 3). Полученные подмножества разбиваются автономно по указанному в п.2 принципу до тех пор, пока каждое из подмножеств не будет состоять из одного сообщения.

Результатом таких процедур будет являться последовательность кодов переменной длины, соответствующих каждому из кодируемых сообщений.

Пример кодирования по методу Шеннона–Фано представлен в табл. 1.2.

Таблица 1.2–Кодирование по методу Шеннона–Фано

X_i	$P(x_i)$	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_k
x_1	$\frac{1}{4}$	0	0	-	-	00
x_2	$\frac{1}{4}$	0	1	-	-	01
x_3	$\frac{1}{8}$	1	0	0	-	100
x_4	$\frac{1}{8}$	1	0	1	-	101
x_5	$\frac{1}{16}$	1	1	0	0	1100
x_6	$\frac{1}{16}$	1	1	0	1	1101
x_7	$\frac{1}{16}$	1	1	1	0	1110
x_8	$\frac{1}{16}$	1	1	1	1	1111

Метод кодирования источников Хаффмена

1. Сообщения источника ранжируются в порядке убывания вероятностей.
2. Группируются два сообщения и вычисляется их суммарная вероятность. При этом два сообщения объединяются в одно.
3. $(N-1)$ сообщения ранжируются в порядке убывания вероятностей и повторяется циклически п.2. Процесс продолжается до тех пор, пока суммарная вероятность не станет равна единице. Результатом указанных процедур является двоичное кодовое дерево, ветви которого кодируются нулем и единицей, а кодовая последовательность каждого сообщения образуется в результате движения от основания дерева к вершине.

Пример кодирования по методу Хаффмена представлен на рис. 1.1.

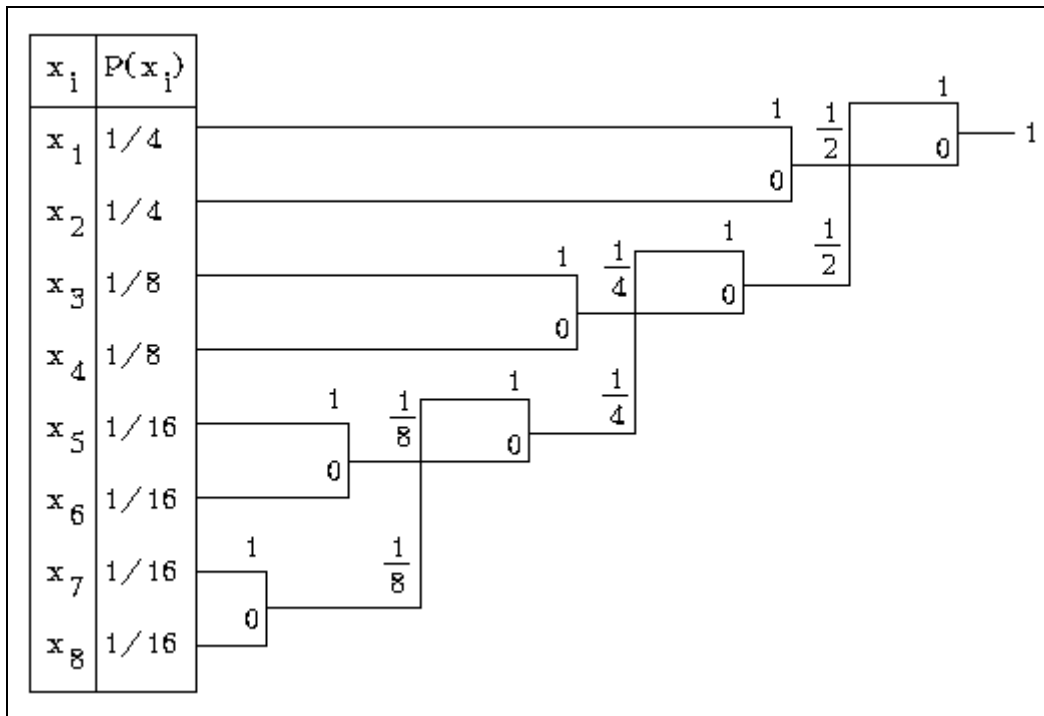


Рис.1.1–Кодирование по методу Хаффмена

Лабораторная работа №2 “Исследование циклических кодов”

Цель работы

Изучить особенности циклических кодов. Исследовать закономерности обнаружения и исправления ошибок.

Литература

1. Овсянников А.С. Теория информационных процессов и систем: В 2 ч. Ч.1. Теоретические основы информационных процессов: Допущено Уч.-метод. объедин. вузов по политехн. образов. в качестве учебного пособия для студентов спец. 071900-“Информационные системы и технологии” Самарск.гос.арх.-строит.ун-т. Самара,2005. -112 с.
2. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов: Учебное пособие для вузов.-М.:Высш.шк.,1987.-248с.
3. Основы передачи дискретных сообщений: Учебник для вузов/ Ю.П. Куликов, В.М. Пушкин и др.; Под ред. В.М. Пушкина. - М.: Радио и Связь, 1992.

Содержание работы

- 1) Выполнить циклическое кодирование 4-х разрядных сообщений;
- 2) Выполнить циклическое кодирование 5-х разрядных сообщений;
- 3) Осуществить выбор образующего полинома при 2-х и 3-х кратных ошибках.

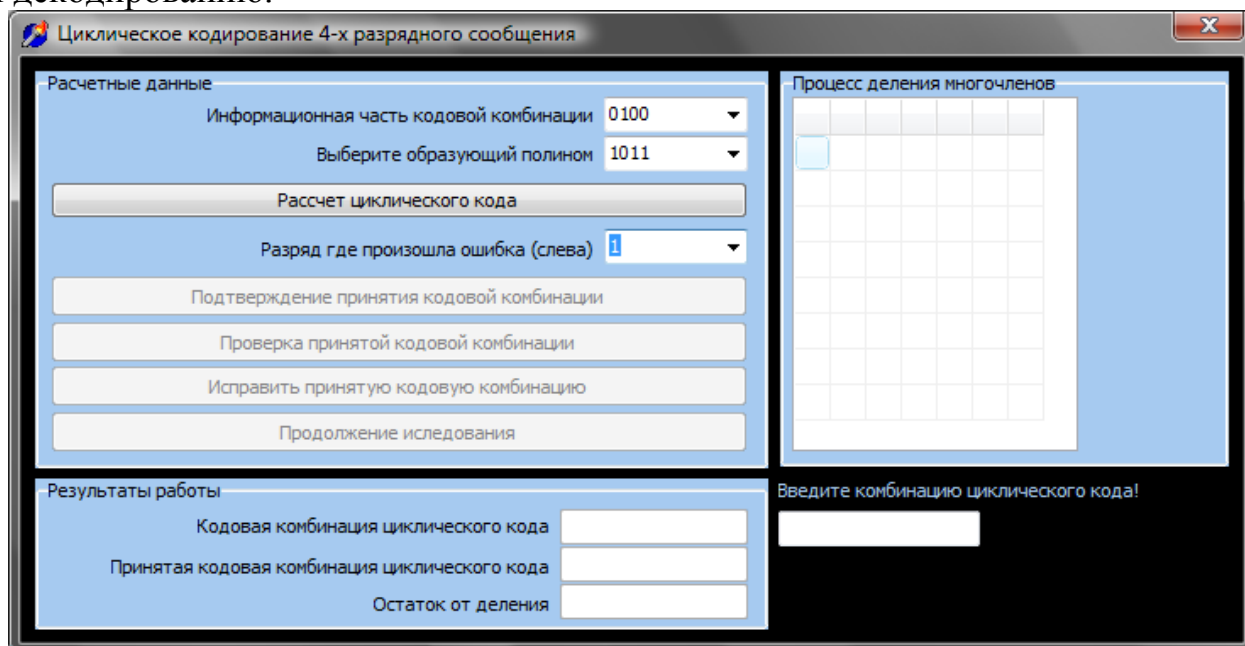
Порядок выполнения работы

Для изучения методов помехоустойчивого кодирования применяется исследовательский автоматизированный комплекс CyclicCode. Для того чтобы приступить к выполнению работы необходимо пройти тестовый опрос. При неудачном тестировании пользователь может воспользоваться обширной помощью по помехоустойчивому кодированию.



Только после прохождения тестового опроса пользователь может приступить к выполнению работы.

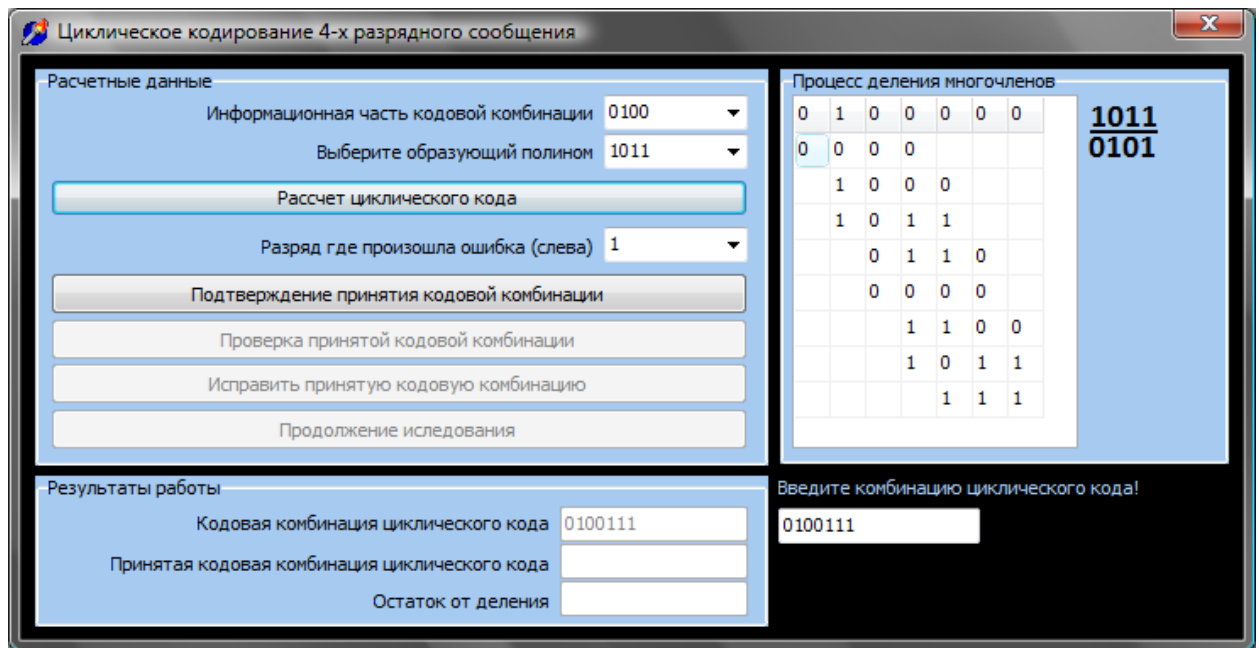
Первый шаг работы – «циклическое кодирование 4-х разрядных сообщений» состоит в выборе по заданию преподавателя одного из вариантов (n,k) кода, где n- число разрядов в кодовой комбинации помехоустойчивого кода, k - число информационных разрядов в кодовой комбинации. Вначале нужно выбрать информационную часть сообщения, которое и будет подвергаться кодированию и декодированию.



Пусть по заданию преподавателя задано сообщение (информационные разряды с k=4) 0100. Вводим это сообщение в поле «Информационная часть кодовой комбинации». Выбор образующего полинома осуществляется по методике, представленной в [1]

После этого необходимо получить кодовую комбинацию циклического кода. Для этого необходимо дописать к информационной части кодовой комбинации 0100 три нулевых разряда, таким образом, получим семи разрядный код 0100000. Полученную кодовую комбинацию разделим на образующий полином 1011:

$$\begin{array}{r}
 0100000 \overline{) 1011} \\
 \underline{0000} \quad 0101 \\
 1000 \\
 \underline{1011} \\
 0110 \\
 \underline{0000} \\
 1100 \\
 \underline{1011} \\
 111
 \end{array}$$



Кодовая комбинация циклического кода получается путем сложения по модулю 2 семи разрядной кодовой комбинации 0100000 и остатка от ее деления на образующий полином:

$$\begin{array}{r} 0100000 \\ \oplus \quad 111 \\ \hline 0100111 \end{array}$$

Для продолжения исследования необходимо ввести кодовую комбинацию циклического кода – 0100111 – в окно ввода и нажать кнопку «Расчет циклического кода».

По умолчанию одна ошибка при передаче сообщения происходит в любом случае, и пусть по заданию преподавателя она произошла в первом разряде, то есть при приеме кодовой комбинации мы получили вместо 0100111 кодовую комбинацию с одной ошибкой 0000111. Необходимо выбрать разряд, в котором произошла ошибка в соответствующем окне и нажать на кнопку "Подтверждения принятия кодовой комбинации".

Приступим к алгоритму обнаружения и исправления ошибки:

1. Делим принятую кодовую комбинацию на образующий полином.
2. Если вес остатка равен единице то ошибка обнаружена.
3. Если вес остатка не равен единице, то осуществляем циклический сдвиг кодовой комбинации на один разряд влево.
4. Делим полученную кодовую комбинацию на образующий полином, в зависимости от веса остатка.
5. Складываем кодовую комбинацию с остатком от деления по модулю 2.
6. Осуществляем циклический сдвиг вправо на такое количество разрядов, сколько раз мы осуществляли сдвиг влево.

После того, как ошибка обнаружена и успешно исправлена для продолжения исследования необходимо нажать кнопку «Продолжение исследования ».

Второй шаг работы - "циклическое кодирование 5-ти разрядных сообщений" состоит в выборе по заданию преподавателя вариант (n,k) кода, где n - число разрядов в кодовой комбинации помехоустойчивого кода, k - число информационных разрядов в кодовой комбинации. Вначале нужно выбрать информационную часть из 32 сообщений, которое и будет подвергаться кодированию и декодированию.

Пусть по заданию преподавателя, вариант (n,k) кода равен (информационные разряды с k=5) 00110. Вводим это сообщение в поле «Введите информационную часть кодовой комбинации».

Выбираем образующий полином.

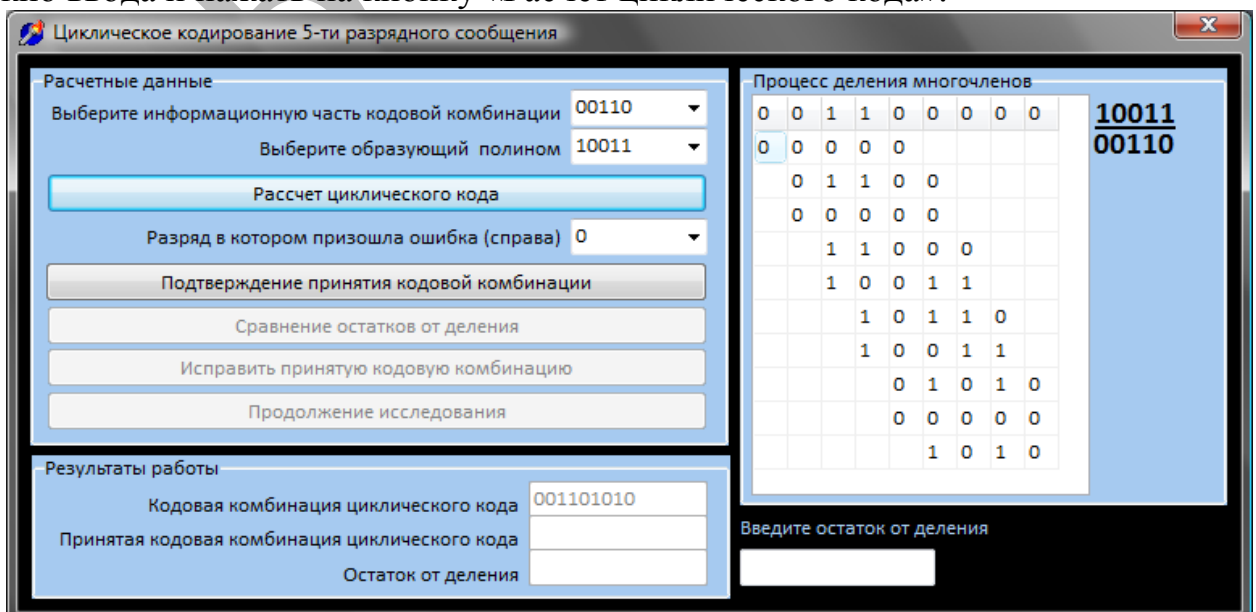
После необходимо получить кодовую комбинацию циклического кода. Для этого необходимо дописать к информационной части кодовой комбинации 00110 четыре нулевых разряда, таким образом, получим девяти разрядный код 001100000. Полученную кодовую комбинацию разделим на образующий полином 10011:

$$\begin{array}{r}
 001100000 \overline{)10011} \\
 \underline{00000} \quad 00110 \\
 01100 \\
 \underline{00000} \\
 11000 \\
 \underline{10011} \\
 10110 \\
 \underline{10011} \\
 01010 \\
 \underline{00000} \\
 1010
 \end{array}$$

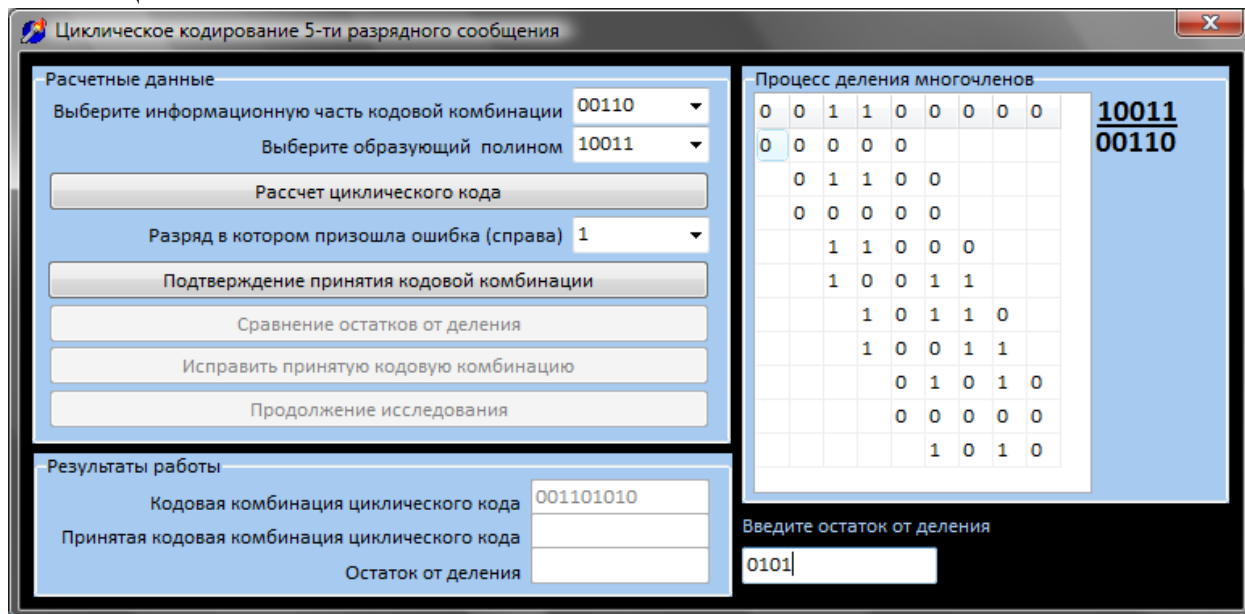
Кодовая комбинация циклического кода получается путем сложения по модулю 2 девяти разрядной кодовой комбинации 001100000 и остатка от ее деления на образующий полином:

$$\begin{array}{r}
 001100000 \\
 \oplus \quad 1010 \\
 \hline
 001101010
 \end{array}$$

Полученную кодовую комбинацию циклического кода необходимо ввести в окно ввода и нажать на кнопку «Расчет циклического кода».



По умолчанию одна ошибка при передаче сообщения происходит в любом случае, и пусть по заданию преподавателя она произошла в первом разряде, то есть при приеме кодовой комбинации мы получили вместо 001101010 кодовую комбинацию с одной ошибкой 011101010. Необходимо выбрать разряд, в котором произошла ошибка в соответствующем окне. Затем ввести остаток от деления 0101 и нажать на кнопку «Подтверждение принятой кодовой комбинации»



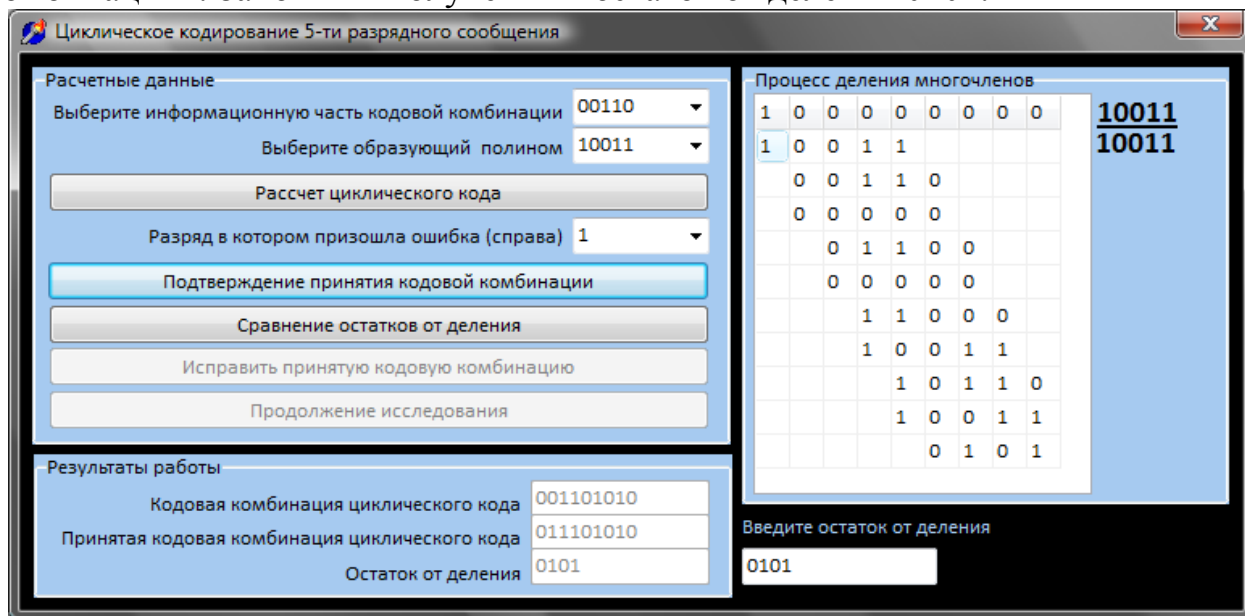
Приступим к алгоритму обнаружения и исправления ошибки:

1. Делим многочлен той же разрядности что и кодовая комбинация циклического кода, в котором нулевой разряд равен единице, а все остальные равны нулю. Запоминаем остаток от деления.
2. Сравниваем остаток от деления принятой кодовой комбинации на образующий полином с остатком полученном на первом шаге.
3. Если остатки не равны, то к остатку, полученному на втором шаге, добавляем пятый нулевой разряд и делим на образующий полином.
4. Повторяем третий шаг до тех пор, пока не получим равенство остатков.
5. При равенстве остатка полученного на первом шаге с остатком полученным в ходе повторения шагов два и три приступаем к исправлению кодовой комбинации циклического кода.
6. Считаем сколько раз мы добавляем нулевой разряд – в таком разряде мы и имеем ошибку. Если разряд нулевой, то заменяем 0 на 1 и наоборот.

На первом шаге получим:

$$\begin{array}{r}
 100000000 \overline{) 10011} \\
 \underline{10011} \quad 10011 \\
 00110 \\
 \underline{00000} \\
 01100 \\
 \underline{00000} \\
 11000 \\
 \underline{10011} \\
 10110 \\
 \underline{10011} \\
 0101
 \end{array}$$

Для продолжения исследования необходимо ввести полученный остаток от деления в окно ввода и нажать на кнопку «Подтверждение принятой кодовой комбинации». Запомним полученный остаток от деления 0101.



Переходим ко второму и т.д. шагам алгоритма.

После того, как ошибка обнаружена и успешно исправлена для продолжения исследования необходимо нажать на кнопку «Продолжение исследования».

Третий шаг работы – «Образующий полином при двойной и тройной ошибке» - тест на знание основного принципа построения образующих полиномов. В данной части работы преподаватель определяет длину кодовой комбинации n , а так же кратность исправляемой ошибки $t_{и.ош}$. Затем необходимо самостоятельно рассчитать количество поверочных разрядов согласно формуле.

$$n = 2^l - 1 \quad l = \frac{r}{t_{и.ош}}, \quad r \geq t_{и.ош} \log(n+1)$$

Далее из таблицы минимальных многочленов выбирается строка и столбец (согласно рассчитанным значениям). После чего необходимо перемножить многочлены и сложить коэффициенты при соответствующих параметрах.

Таблица минимальных многочленов:

$J = 2t_{и.ош} - 1$	Вид минимальных многочленов					
	$\frac{r}{t_{и.ош}} = 2$	$\frac{r}{t_{и.ош}} = 3$	$\frac{r}{t_{и.ош}} = 4$	$\frac{r}{t_{и.ош}} = 5$	$\frac{r}{t_{и.ош}} = 6$	$\frac{r}{t_{и.ош}} = 7$
1	2	3	4	5	6	7
1	x^2+x+1	x^3+x+1	x^4+x+1	x^5+x+1	x^6+x+1	x^7+x+1
3	—	—	$x^4+x^3+x^2+x+1$	$x^5+x^4+x^3+x^2+x+1$	$x^6+x^4+x^2+x+1$	$x^7+x^3+x^2+x+1$
5	—	—	—	$x^5+x^4+x^2+x+1$	$x^6+x^5+x^2+x+1$	$x^7+x^4+x^3+x^2+1$
7	—	—	—	—	x^6+x^3+1	$x^7+x^6+x^5+x^4+x^2+x+1$

Пусть по заданию преподавателя длина кодовых комбинаций равна 15, а кратность исправляемых ошибок равна двум.

Согласно формуле $r=2*\log(15+1)=8$, количество проверочных разрядов - восемь. Согласно таблице минимальных многочленов нужно перемножить x^4+x+1 на $x^4+x^3+x^2+x+1$ и сложить коэффициенты при соответствующих слагаемых по модулю 2.

$$(x^4+x+1)*(x^4+x^3+x^2+x+1)=x^8+x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+x+1=$$

$$x^8+x^7+x^6+x^4+1$$

или 1110100001 .

Для продолжения исследования необходимо ввести количество проверочных разрядов и образующий полином в соответствующие окна ввода. Нажать на кнопку «подтвердить ответ».

При верном ответе для продолжения исследования необходимо нажать на кнопку «Продолжение исследования».

На этом наше исследование заканчивается, Поздравляем, вы завершили прохождение исследования.

Содержание отчёта

1. Сообщение программы об успешном выполнении лабораторной работы.
2. Расчётные формулы и рассчитанные численные значения информационных характеристик.
3. Выводы об особенностях, преимуществах и областях применения рассмотренных методов кодирования.
4. Правильный ответ на контрольный вопрос по заданию преподавателя.

Контрольные вопросы

1. Понятие корректирующего кода.
2. Дать определение расстоянию Хемминга.
3. Дать определение кодовому расстоянию линейного помехоустойчивого кода.
4. Кратность исправляемых ошибок: формула, обозначения.
5. Кратность обнаруживаемых ошибок: формула, обозначения.
6. Условие обнаружения (исправления) ошибки помехоустойчивым кодом.
7. Условие ассоциативности (сочетательности) множество G .
8. Дать понятие нейтральному элементу множестве G .
9. Дать понятие обратному элементу множестве G .
10. Чем задаётся корректирующий (помехоустойчивый) код.
11. Дать определение синдрому линейного кода.
12. Записать вектор ошибки во втором (первом, третьем и т. д) разряде принятой кодовой комбинации кода $G_{(6,3)}$.
13. Сформулируйте определяющее свойство циклического кода.
14. Чем определяется ошибка в принятой кодовой комбинации циклического кода.?
15. Дать определение порождающему (производящему, образующему) полиному циклического кода.

Лабораторная работа N3

“Уровни передачи, остаточное затухание и нелинейность каналов”

Цель работы

Освоение методики расчёта и навыков измерения параметров передачи (уровней передачи и затухания каналов и трактов систем передачи) и нелинейности усилителей.

Изучение законов формирования продуктов нелинейности в групповых усилителях многоканальных систем передачи.

Литература

1. Овсянников А.С. Электронный конспект лекций по дисциплине “ОСТ”. Поволжский госуд. ун-т телеком. и информ.. Самара, 2011. -204 с.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретическим материалом по рекомендованной литературе и теоретической частью настоящего методического пособия.
2. Получить задание на выполнение работы у преподавателя.
3. Выполнить расчётную часть:
 - a. рассчитать уровни сигнала на входе и выходе усилителя, а также затухание усилителя;
 - b. рассчитать уровни продуктов нелинейности и затухания нелинейности по всем продуктам нелинейного происхождения;
 - c. рассчитать и построить график зависимости суммарной мощности помех нелинейного происхождения в зависимости от уровня сигнала на входе усилителя.
4. Выполнить экспериментальную часть:
 - a. ознакомиться с программой модели группового усилителя многоканальной системы передачи, установить заданные параметры исследования;
 - b. снять показания амплитуд (напряжений) всех продуктов нелинейности на выходе усилителя;
 - c. рассчитать экспериментальные значения уровней:
 - i. сигнала на входе усилителя;
 - ii. сигнала на выходе усилителя;
 - iii. продуктов нелинейности и затухания нелинейности по всем продуктам нелинейности;
 - d. рассчитать экспериментальное значение затухания усилителя;

- е. рассчитать и построить экспериментальный график зависимости суммарной мощности помех нелинейного происхождения в зависимости от уровня сигнала на входе усилителя..
5. Сформулировать выводы по результатам проведённых исследований.
 6. Составить письменный отчёт по лабораторной работе.

Содержание отчёта

1. Цель работы и задание, выданное преподавателем.
2. Результаты теоретических расчётов (в виде таблиц и графиков).
3. Результаты экспериментальных исследований(в виде таблиц и графиков).
4. Выводы.

Теоретический материал

1 Уровни передачи

В технике связи наряду с общепринятыми единицами измерений системы СИ широкое применение получили специальные единицы для измерения или определения отношений двух одноименных величин (на-пример, мощности, напряжения, тока) в логарифмическом масштабе, называемые единицами передачи. В единицах передачи выражаются уровни сигналов и помех, затухания, усиления и некоторые другие величины.

Единица передачи определяет отношение двух одноименных величин в системе десятичных логарифмов и выражается в децибелах

$$1_{\text{дБ}} = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \lg \frac{I_1}{I_2} \quad (3.1)$$

Отсюда один децибел соответствует следующим отношениям мощностей, напряжений и токов

$$10^{\frac{1}{10}} = P_1/P_2 = 1,2589 \approx 1,26; \quad 10^{\frac{1}{20}} = U_1/U_2 = I_1/I_2 = 1,1220 \approx 1,12$$

В децибелах градуируются шкалы вновь разрабатываемых приборов и определяются нормы на соответствующие параметры каналов и трактов.

Уровнем называется выраженное в единицах передачи отношение мощностей, напряжений или токов в какой-либо точке цепи к аналогичной величине, принятой в качестве исходной за начало отсчета. В соответствии с этим различают уровни (дБ) мощности p_M , напряжения p_H и тока p_T .

$$p_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0}; \quad p_H = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}; \quad p_T = 20 \lg \frac{I_x}{I_0} \quad (3.2)$$

Оценка условий передачи сигналов и влияния помех в устройствах связи осуществляется по их мощности. Измеряют, как правило, напряжения, так как для измерения мощности тока необходимо разрывать цепь. Поэтому в технике связи используются в основном понятия уровней (дБ) мощности и напряжения. Связь между ними определяется соотношениями

$$p_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \frac{U_x^2 R_0}{U_0^2 Z_H} = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} + 10 \lg \frac{R_0}{Z_H} = p_H + 10 \lg \frac{R_0}{Z_H}, \quad (3.3)$$

где Z_H — модуль полного сопротивления, на котором определяется или измеряется мощность и напряжение в некоторой точке тракта передачи;

R_0 — активное сопротивление, на котором определяется напряжение, принятое за начало отсчета.

Как следует из выражения (1.3), значения уровней мощности и напряжения совпадают только в том случае, когда сопротивления, на которых определяется измеряемое напряжение U_x и напряжение U_0 (принимаемое за начало отсчета), равны между собой. Следовательно, только уровни мощности можно сравнивать между собой, не указывая сопротивлений, на которых они определяются.

Для оценки мощности, напряжения и тока сигналов или помех используется понятие абсолютного уровня. Абсолютный уровень мощности определяется относительно величины $P_0 = 1 \text{ мВ} \cdot \text{А}$ для полной и $P_0 = 1 \text{ мВт}$ для активной мощностей

$$p_M = 10 \lg P(\text{мВ} \cdot \text{А}, \text{мВт}),$$

Абсолютные уровни напряжения и тока являются производными от уровня мощности, так как зависят от сопротивления нагрузки Z_H , на котором выделяется одна и та же мощность, а также от сопротивления R_0 , на котором определяется величина абсолютного нулевого уровня напряжения или тока (начало отсчета):

$$U_0 = \sqrt{1 \cdot 10^{-3} R_0} \quad \text{и} \quad I_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{R_0}}. \quad (3.4)$$

В соответствии с рекомендациями МККТТ абсолютный нулевой уровень напряжения и тока должен определяться на нагрузке с активным сопротивлением $R_0 = 600 \text{ Ом}$. При этом

$$U_0 = \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \cdot 600} = 0,775 \text{ В}$$

и

$$I_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-3}}{600}} = 1,29 \text{ мА}$$

В соответствии с выражением (3.2)

$$p_H = 20 \lg \frac{U_x}{0,775}; \quad p_T = 20 \lg \frac{I_x}{1,29} \quad (3.5)$$

Связь между абсолютным уровнем мощности и напряжения определяется выражением

$$P_M = 10 \lg \frac{P_x}{1} = 10 \lg \frac{U_x^2 \cdot 600}{Z_H \cdot 0,775} + 10 \lg \frac{600}{Z_H};$$

$$p_M = p_H + 10 \lg \frac{600}{Z_H} \quad (3.6)$$

В этих выражениях Z_H — модуль полного сопротивления нагрузки, на котором измеряются или определяются уровни.

Из выражений (1.6) видно, что значения абсолютного уровня мощности и напряжения совпадают только на нагрузке $Z_H = 600 \text{ Ом}$.

Следует отметить, что иногда для удобства эксплуатационных измерений шкалы измерителей уровня дополнительно градуируют относительно нулевого абсолютного уровня напряжения, определяемого выражением (3.4) на нагрузке R_0 , сопротивлением 75, 135 или 150 Ом. В этом случае, как следует из выражений (3.3), значения абсолютного уровня мощности и напряжения будут совпадать при $Z_H = R_0$.

Переход от абсолютных уровней к мощностям (мВ·А или мВт) или напряжениям (В) осуществляется с помощью соотношений:

$$P_x = 1 \cdot 10^{\frac{p_M}{10}}; \quad U_x = 0,775 \cdot 10^{\frac{p_H}{20}}$$

Относительный уровень определяет соотношение между мощностью передаваемого сигнала в любой точке тракта передачи и мощностью в его начале.

$$p_{M.OTN} = 10 \lg \frac{p_x}{p_{вх}} = 10 \lg \frac{U_x^2 \cdot 600}{Z_H U_{вх}^2} = 20 \lg \frac{U_x}{U_{вх}} + 10 \lg \frac{600}{Z_H}$$

или

$$P_{M.OTN} = p_{H.OTN} + 10 \lg \frac{600}{Z_H} \quad (3.7)$$

$$P_{н.отн} = 20 \lg \frac{U_x}{U_{вх}}$$
 где — относительный уровень напряжения.

Из выражений (1.7) следует, что относительные уровни мощности и напряжения совпадают по величине только на одинаковых сопротивлениях нагрузки. Относительный уровень определяется разностью абсолютных уровней в данной точке и в начале канала:

$$P_{м.отн} = 10 \lg \frac{P_x}{P_{вх}} = p_{м^x} - p_{м_{вх}}$$

$$P_{н.отн} = 20 \lg \frac{U_x / 0,775}{U_{вх} / 0,775} = p_{н^x} - p_{н_{вх}}$$

Таким образом, относительный уровень показывает, на сколько абсолютный уровень в данной точке канала больше или меньше абсолютного уровня на его входе. Для упрощения расчетов значения абсолютных уровней сигналов и помех приводят к точке с нулевым относительным уровнем.

Уровень мощности информационных сигналов, особенно речевых, изменяется во времени. Поэтому при расчетах в процессе проектирования и при измерениях систем передачи информации широко используется понятие измерительного уровня.

Измерительным уровнем называется значение абсолютного уровня синусоидального сигнала в данной точке канала при подключении к его входу (в точку с нулевым относительным уровнем) генератора синусоидального сигнала с выходным сопротивлением 600 Ом и э. д. с., равной $2 \times 0,775$ В. Такой генератор отдает в канал со входным сопротивлением 600 Ом мощность в 1 мВт (нулевой уровень мощности). По определению МККТТ, частота генератора может быть любой, но обычно ее принимают равной 800 Гц или оговаривают специальным условием.

Так как при определении измерительного уровня в точку с нулевым относительным уровнем подается сигнал с абсолютным нулевым уровнем, то значения измерительного и относительного уровней в канале ТЧ совпадают.

Измерительный уровень является условным эквивалентом информационных сигналов, удобным для расчетов и измерений. Соответствие действительных и расчетных значений измерительных уровней, так же как соответствие установленным нормам других параметров каналов или групповых трактов, является гарантией требуемого качества передачи информационных сигналов.

Соотношение между измерительным уровнем и уровнем средней и максимальной мощности информационных сигналов в различных точках

канала или группового тракта может быть различным и определяется при расчетах.

2 Остаточное затухание

Остаточным затуханием (ОЗ) канала или группового тракта называется разность между суммой затуханий и суммой усиления, вносимых всеми его элементами:

$$a_0 = \sum_1^n a_i - \sum_1^m S_j \quad (3.8)$$

Остаточное затухание с отрицательным знаком (преобладание суммы усиления) называется остаточным усилением (ОУ). В соответствии с рекомендациями МККТТ ОЗ (ОУ) определяется и измеряется как рабочее затухание (усиление).

где p_1 — максимальная мощность, которую может отдать источник изме-

$$a_p = 10 \lg \frac{P_1}{P_H} = 10 \lg \frac{\left(\frac{E_\Gamma}{2}\right)^2 Z_H}{Z_\Gamma U_H^2} = 20 \lg \frac{E_\Gamma}{2U_H} + 10 \lg \frac{Z_H}{Z_\Gamma} =$$

$$p_1 - p_H + 10 \lg \frac{Z_H}{Z_\Gamma}; S_p = 10 \lg \frac{P_H}{P_1} = p_H - p_1 + 10 \lg \frac{Z_\Gamma}{Z_H} \quad (3.9)$$

рительного сигнала;

E_Γ — э. д. с. источника сигнала;

$p_1 = p_E/2$ — уровень, соответствующий половине э. д. с.;

P_H , U_H и p_H — соответственно мощность, напряжение и уровень напряжения сигнала в нагрузке;

Z_Γ и Z_H — модули полных сопротивлений источника сигнала и нагрузки.

Нормируется и измеряется ОЗ (ОУ) каналов и групповых трактов систем многоканальной связи при одинаковых активных оконечных нагрузках $R_\Gamma = Z_\Gamma = R_H = Z_H$, равных номинальным значениям входных и выходных сопротивлений Поэтому

$$a_0 = p_1 - p_H \quad \text{и} \quad S_0 = p_H - p_1$$

где $p_1 = p_E / 2$ — уровень, соответствующий половине э. д. с. источника измерительного сигнала;

p_H — уровень напряжения на нагрузке с номинальным сопротивлением.

3 Помехи нелинейного происхождения

Нелинейные помехи возникают в нелинейных групповых устройствах, в которых паразитные нелинейные продукты могут попадать из одних каналов в другие. При правильном расчете загрузки групповых устройств паразитная нелинейность их невелика. При большом числе таких устройств в групповом тракте на выходе каждого канала происходит накопление нелинейных помех, мощность которых может достигать значительной величины. В этом смысле особенно опасны нелинейные помехи, возникающие в групповых усилителях, число которых в линейном тракте может быть очень большим.

При использовании квазилинейного участка амплитудной характеристики усилителя с глубокой отрицательной обратной связью эта характеристика может быть аппроксимирована полиномом третьей степени:

$$u_{\text{вых}} = b_1 u_{\text{вх}} + b_2 u_{\text{вх}}^2 + b_3 u_{\text{вх}}^3 \quad (3.10)$$

где $b_3 \ll b_2 \ll b_1$

Если на вход такого усилителя подать гармоническое напряжение $u_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} \cos \omega t$, то выражение для напряжения на его выходе после проведенных преобразований примет вид

$$u_{\text{вых}} = (b_1 U_{\text{вх}} + \frac{3}{4} b_3 U_{\text{вх}}^3) \cos \omega t + \frac{1}{2} b_2 U_{\text{вх}}^2 \cos 2\omega t + \frac{1}{4} b_3 U_{\text{вх}}^3 \cos 3\omega t$$

или, поскольку $b_3 \ll b_1$,

$$u_{\text{вых}} = b_1 U_{\text{вх}} \cos \omega t + \frac{1}{2} b_2 U_{\text{вх}}^2 \cos 2\omega t + \frac{1}{4} b_3 U_{\text{вх}}^3 \cos 3\omega t = \\ U_{1r} \cos \omega t + U_{2r} \cos 2\omega t + U_{3r} \cos 3\omega t$$

где $U_{1r} = b_1 U_{\text{вх}}$ — амплитуда полезного сигнала на выходе; $U_{2r} = \frac{1}{2} b_2 U_{\text{вх}}^2$ и

$U_{3r} = \frac{1}{4} b_3 U_{\text{вх}}^3$ — соответственно амплитуды второй и третьей гармоник сигнала на выходе. Поскольку $U_{\text{вх}} = U_{1r} / b_1$, то

$$U_{2r} = \frac{1}{2} \frac{b_2}{b_1^2} U_{\text{вх}}^2 \quad \text{и} \quad U_{3r} = \frac{1}{4} \frac{b_3}{b_1^3} U_{\text{вх}}^3$$

В технике передачи многоканальной информации для оценки нелинейных искажений пользуются понятием затухания нелинейности по гармоникам (в децибелах). Затухание нелинейности по второй гармонике равно

$$a_{2r} = p_{1r} - p_{2r} = 20 \lg \frac{U_{1r}}{U_{2r}} \quad (3.11)$$

Затухание нелинейности по третьей гармонике равно

$$a_{3r} = p_{1r} - p_{3r} = 20 \lg \frac{U_{1r}}{U_{3r}} \quad (3.12)$$

где $p_{1r} = p_{пер}$ — уровень колебания основной частоты на выходе усилителя; p_{2r} и p_{3r} — соответственно уровни второй и третьей гармоник основной частоты.

Подставив значения амплитуд напряжений U_{2r} и U_{3r} получим

$$a_{2r} = 20 \lg \frac{2b_1^2}{b_2 U_{1r}} \quad \text{и} \quad a_{3r} = 20 \lg \frac{4b_1^3}{b_3 U_{1r}}$$

Из полученных выражений видно, что затухания нелинейности по гармоникам зависят от напряжения (или уровня) колебаний основной частоты на выходе усилителя. Преобразуем выражения для a_{2r} :

$$a_{2r} = 20 \lg \frac{2b_1^2}{b_2 \sqrt{2} U_{1д}} = 20 \lg \frac{\sqrt{2} b_1^2}{b_2 U_{ЭГ}} - 20 \lg \frac{U_{1д}}{U_{ЭГ}} = a_{2r(0)} - p_{пер} \quad (3.13)$$

При $p_{пер} = 0$, т. е. $U_{1д} = U_{ЭГ}$, получим, что $a_{2r} = a_{2r(0)}$. Величина $a_{2r(0)}$ определяется только характеристикой усилителя и является одним из его параметров.

Аналогично преобразуем выражение для a_{3r} :

$$a_{3r} = 20 \lg \frac{2b_1^3}{b_3 U_{1д}^2} = 20 \lg \frac{2b_1^3}{b_3 U_{ЭГ}^2} - 20 \lg \frac{U_{1д}^2}{U_{ЭГ}^2} = a_{3r(0)} - 2p_{пер} \quad (3.14)$$

Величина $a_{3r(0)}$ также определяется только характеристикой усилителя. Отрицательный знак в этих выражениях показывает, что при увеличении уровня входного сигнала, а следовательно, и уровня выходного сигнала затухание нелинейности по гармоникам уменьшается на соответствующую величину.

Выражения (3.2), (3.2'), (3.3) и (3.3') справедливы только при малой нелинейности усилителей. За порогом перегрузки усилителей перестает выполняться условие $b_{i+1} \ll b_i$ выведенные соотношения нарушаются и затухания нелинейности резко уменьшаются. На рис.3.1 показана зависимость затухания нелинейности по гармоникам от изменения уровня полезного сигнала на выходе усилителя.

В реальных условиях на вход групповых усилителей поступает грунтовой сигнал, который можно рассматривать как нормальный стационарный случайный процесс. Энергетический спектр группового сиг-

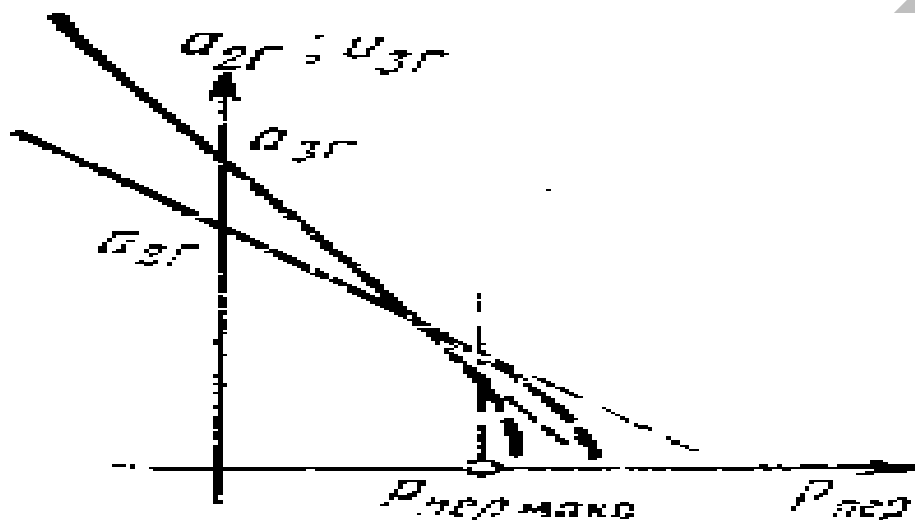


Рис.3.1-Зависимости a_{2r} и a_{3r} от $p_{пер}$

нала на входе группового усилителя в простейшем случае (если в аппаратуре не предусмотрено предуслаживания уровней передачи и если корректировка амплитудно-частотных искажений производится выравнителем на входе усилителя) может быть определен выражением

$$\left. \begin{aligned} G(f) &= G_0 = const & \text{при } f_n \leq f \leq f_s \\ G(f) &= 0 & \text{при } f < f_n \text{ и } f > f_s \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

Поскольку групповой сигнал на выходе безынерционного группового усилителя $G(f)_{\text{вых}}$ также является нормальным стационарным случайным процессом, то его энергетический спектр можно найти из зависимостей, связывающих энергетический спектр (спектральную плотность) случайного процесса и его корреляционную функцию. Для нахождения корреляционной функции случайного процесса на выходе усилителя используется математический аппарат теории случайных процессов. Выводы эти достаточно сложны и поэтому здесь не приводятся. Пользуясь этими выводами, можно получить общее выражение для энергетического спектра сигнала и нелинейных помех на выходе усилителя.

Обычно при расчете нелинейных помех пользуются следующими упрощающими предположениями: групповые усилители обладают слабой нелинейностью и поэтому определению подлежат только мощности нелинейных продуктов второго и третьего порядков; энергетический спектр сигнала на входе усилителя имеет равномерный характер. Если принять эти упрощающие предположения, то можно с некоторым приближением заменить групповой сигнал суммой m колебаний с дискретными частотами; тогда для определения мощности нелинейных помех можно использовать более простой математический аппарат.

Представим напряжение сигнала, действующего на групповой усилитель — четырехполюсник со слабой нелинейностью, в виде

$$u_{ex} = \sum_{k=1}^m U_{ex(1)} \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (3.16)$$

где $U_{ex(1)} = U_{ex1} = U_{ex2} = \dots = U_{exm}$ — амплитуда напряжения одной из составляющих сложного колебания. В этом случае напряжение полезного сигнала на выходе нелинейного четырехполюсника с амплитудной характеристикой, аппроксимируемой полиномом N -й степени, может быть определено как

$$u_{вых} = b_1 \sum_{k=1}^m U_{ex(1)} \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (3.17)$$

Паразитные составляющие напряжения на выходе нелинейного четырехполюсника представляют собой как гармоники частотных составляющих входного сигнала, так и различные комбинационные составляющие. В общем виде выражение для частоты любого нелинейного продукта ω_m можно записать следующим образом:

$$\omega_m = c_1 \omega_1 \pm c_2 \omega_2 \pm \dots \pm c_m \omega_{1m}$$

где c_1, c_2, \dots, c_m — положительные целые числа или нули. Порядок продукта нелинейности определяется суммой абсолютных значений коэффициентов $c_1 + c_2 + \dots + c_m$ и не может быть выше степени аппроксимирующего полинома. Если алгебраическая сумма коэффициентов $c_1 \pm c_2 \pm \dots \pm c_m = 1$ то соответствующий продукт нелинейности относят к продуктам первого рода, если же $c_1 \pm c_2 \pm \dots \pm c_m \neq 1$ то его относят к продуктам второго рода.

Для групповых усилителей продукты нелинейности являются продуктами второго и третьего порядков. В общем виде их можно записать следующим образом: $2\omega_x, (\omega_x \pm \omega_y)$ — продукты второго порядка; $3\omega_x, (2\omega_x \pm \omega_y), (\omega_x \pm \omega_y \pm \omega_z)$ — продукты третьего порядка. Как следует из определения, к продуктам первого рода из всех перечисленных продуктов

относятся только продукты третьего порядка вида $(2\omega_x - \omega_y)$ и $(\omega_x + \omega_y - \omega_z)$. Таким образом, можно написать, что

$$U_{\text{ВЫХ}} = b_1 u_{\text{вх}} + b_2 u_{\text{вх}}^2 + b_3 u_{\text{вх}}^3 = b_1 \sum_{k=1}^m U_{\text{вх}(k)} \cos(\omega_k t + \varphi_k) +$$

Прои⁺ $b_2 \left[\sum_{k=1}^m U_{\text{вх}(k)} \cos(\omega_k t + \varphi_k) \right]^2 + b_3 \left[\sum_{k=1}^m U_{\text{вх}(k)} \cos(\omega_k t + \varphi_k) \right]^3$ выражения для определения напряжений всех частотных составляющих полезного сигнала и паразитных продуктов нелинейности на выходе четырехполюсника. Амплитуды напряжений этих составляющих, приведены в табл. 3.1,

Количество составляющих напряжения каждого, вида определяется в соответствии с формулами теории соединений. Например число вторых или третьих гармоник основных составляющих (исходных колебаний) равно числу колебаний m ; число комбинаций второго порядка определяется выражением $2C_m^n = C_m^2 = m(m-1)$ и т. д.

Мощность основных составляющих сигнала, выделяемых на активном сопротивлении нагрузки (в групповых усилителях сопротивление нагрузки обычно не зависит от частоты) усилителя R , может быть выражена как

ТАБЛИЦА 3.1

Составляющие вида	Амплитуда составляющих напряжения на выходе	Количество составляющих напряжения на выходе
f_x	$U_{1r} = b_1 U_{\text{вх}}$	m
$2f_x$	$U_{2r} = \frac{b_2}{2} U_{\text{вх}}^2 = \frac{b_2}{2b_1^2} U_{1r}^2$	m
$3f_x$	$U_{3r} = \frac{b_3}{4} U_{\text{вх}}^3 = \frac{b_3}{4b_1^3} U_{1r}^3$	m
$f_x \pm f_y$	$U_{f_x \pm f_y} = b_2 U_{\text{вх}(1)}^2 = 2U_{2r}$	$m(m-1) \approx m^2$
$2f_x \pm f_y$	$U_{2f_x \pm f_y} = \frac{3}{4} b_3 U_{\text{вх}(1)}^3 = 3U_{3r}$	$2m(m-1) \approx 2m^2$
$f_x \pm f_y \pm f_z$	$U_{f_x \pm f_y \pm f_z} = \frac{3}{2} b_3 U_{\text{вх}(1)}^3 = 6U_{3r}$	$\frac{2}{3} m(m-1) \times (m-1) \approx \frac{2}{3} m^2$

$P_{(1)} = U_{(1)}^2 / R = b_1^2 U_{\text{ex}(1)}^2 / 2R$, а их уровень в дБ:

$$p_{(1)} = 10 \lg \frac{P_{(1)}}{P_{\text{ЭГ}}} = 20 \lg \frac{b_1 U_{\text{ex}(1)}}{\sqrt{2R}}.$$

Используя выражения (3.2') и (3.3'), можно написать выражения для уровней вторых и третьих гармоник основных составляющих:

$$p_{2r(1)} = 2p_{\text{пер}} - a_{2r(0)}; \quad p_{3r(1)} = 3p_{\text{пер}} - a_{3r(0)}.$$

Отсюда их мощности могут быть выражены как

$$P_{2r(1)} = 10^{0,2p_{\text{пер}}} 10^{0,1a_{2r(0)}}; \quad (3.18)$$

$$P_{3r(1)} = 10^{0,3p_{\text{пер}}} 10^{0,1a_{3r(0)}}; \quad (3.19)$$

где $a_{2r(0)}$, $a_{3r(0)}$, $p_{\text{пер}}$ выражены в дБ.

Согласно табл.1 мощности комбинационных продуктов могут быть выражены через мощности соответствующих гармоник:

$$P_{f_x \pm f_y} = 4P_{2r(1)}; \quad P_{2f_x \pm f_y} = 9P_{3r(1)}; \quad P_{f_x \pm f_y \pm f_z} = 36P_{3r(1)}; \quad (3.20)$$

Общую мощность нелинейных продуктов любого порядка можно определить, зная приведенное в табл.1 количество продуктов •соответствующего вида; например, общая мощность продуктов второго порядка определится выражением

$$P_{2m\Sigma} = mP_{2r(1)} + m(m-1)4P_{2r(1)} \approx 4m^2 P_{2r(1)}; \quad (3.21)$$

а общая мощность продуктов третьего порядка выражением

$$P_{3m\Sigma} = mP_{3r(1)} + 2m(m-1)9P_{3r(1)} + \frac{2}{3}(m-2)(m-1)m36P_{3r(1)} \approx 24m^3 P_{3r(1)}. \quad (3.22)$$

Задание на выполнение работы

Номер варианта задания берётся в соответствии с “номером подгруппы/номером по списку” по нижеприведённой таблице. Обозначения в ней соответствуют обозначениям, принятом в программе модели группового усилителя.

подгруппа номер по списку	C₁	C₂	C₃	b₁	b₂	b₃
$\frac{1}{1}$	1	1	1	1.0	0.08	0.008
$\frac{1}{2}$	2	1	1	1.0	0.09	0.009
$\frac{1}{3}$	1	2	1	1.0	0.10	0.010
$\frac{1}{4}$	1	1	2	1.0	0.11	0.011
$\frac{1}{5}$	2	2	1	1.0	0.12	0.012
$\frac{1}{6}$	3	2	1	1.0	0.08	0.008
$\frac{1}{7}$	2	1	3	1.0	0.09	0.009
$\frac{1}{8}$	1	2	3	1.0	0.10	0.010
$\frac{1}{9}$	1	1	3	1.0	0.11	0.011
$\frac{1}{10}$	3	1	1	1.0	0.12	0.012
$\frac{1}{11}$	2	2	2	1.0	0.08	0.008
$\frac{1}{12}$	2	3	4	1.0	0.09	0.009
$\frac{1}{13}$	4	1	1	1.0	0.10	0.010
$\frac{1}{14}$	1	4	1	1.0	0.11	0.011
$\frac{1}{15}$	1	1	4	1.0	0.12	0.012
$\frac{1}{16}$	3	4	1	1.0	0.08	0.008
$\frac{1}{17}$	1	4	3	1.0	0.09	0.009
$\frac{2}{1}$	4	3	1	1.0	0.10	0.010
$\frac{2}{2}$	2	3	4	1.0	0.11	0.011
$\frac{2}{3}$	4	1	1	1.0	0.12	0.012
$\frac{2}{4}$	1	4	1	2.0	0.08	0.008
$\frac{2}{5}$	1	1	4	2.0	0.09	0.009
$\frac{2}{5}$	3	4	1	2.0	0.10	0.010
$\frac{2}{7}$	1	4	3	2.0	0.11	0.011

$\frac{2}{8}$	4	3	1	2.0	0.12	0.012
$\frac{2}{9}$	2	3	4	2.0	0.08	0.008
$\frac{2}{10}$	4	1	1	2.0	0.09	0.009
$\frac{2}{11}$	1	4	1	2.0	0.10	0.010
$\frac{2}{12}$	1	1	4	2.0	0.11	0.011
$\frac{2}{13}$	3	4	1	2.0	0.12	0.012
$\frac{2}{14}$	1	4	3	1.3	0.08	0.008
$\frac{2}{15}$	4	3	1	1.3	0.09	0.009
$\frac{2}{16}$	2	3	4	1.3	0.10	0.010
$\frac{2}{17}$	4	1	1	1.3	0.11	0.011
$\frac{2}{18}$	1	4	1	1.3	0.12	0.012

ABC III

Лабораторная работа №4

“Методы объединения и разделения цифровых потоков”

Цель работы

Ознакомиться с основными методами объединения и разделения цифровых потоков в асинхронных цифровых иерархиях.

Литература

1. Овсянников А.С. Электронный конспект лекций по дисциплине “ОСТ”. Поволжский госуд. ун-т телеком. и информ.. Самара,2011. -204 с.

Содержание работы

1. Запустить программу Toip. Ознакомиться с пользовательским интерфейсом программы.
2. Изучить метод синхронно-синфазного объединения цифровых потоков и установить параметры этого метода в окне ввода параметров программы.
3. Проверить правильность объединения цифровых потоков по диаграммам сигналов синхронно-синфазного объединения цифровых потоков.
4. Изучить метод синхронного объединения цифровых потоков и установить параметры этого метода в окне ввода параметров программы.
5. Проверить правильность объединения цифровых потоков по диаграммам сигналов синхронного объединения цифровых потоков. Выявить отличия от предыдущего метода.
6. Изучить метод асинхронного объединения цифровых потоков и установить параметры этого метода в окне ввода параметров программы.
7. Проверить правильность объединения цифровых потоков по диаграммам сигналов синхронного объединения цифровых потоков. Выявить отличия от предыдущего метода.
8. Подготовиться к теоретическому отчёту по выполненной работе.

Требования к отчёту

1. Продемонстрировать выполнение работы по заданию преподавателя
2. Знать назначение всех блоков, исходя из условия необходимости их применения в схемах методов объединения цифровых потоков.
3. Уметь определять параметры сигнала цифрового потока по временному его представлению.
4. Правильно ответить на контрольный вопрос по требованию преподавателя.

Контрольные вопросы

1. Дать определение синхронной и асинхронной цифровым иерархиям.
2. Рассказать о принципах построения асинхронной иерархии ЦСП.
3. В чём основная сущность любого метода объединения цифровых потоков.
4. в чём разница посимвольного и побайтового способов объединения цифровых потоков?
5. Рассказать о работе синфазно-синхронного объединения и разделения цифровых потоков по временным диаграммам.
6. Рассказать о работе синфазно-синхронного объединения и разделения цифровых потоков по структурным схемам передатчика и приёмника.
7. Рассказать о работе синхронного объединения и разделения цифровых потоков по временным диаграммам.
8. Рассказать о работе синхронного объединения и разделения цифровых потоков по структурным схемам передатчика и приёмника.
9. Рассказать о работе асинхронного объединения и разделения цифровых потоков по временным диаграммам.
10. Рассказать о работе асинхронного объединения и разделения цифровых потоков по структурным схемам передатчика и приёмника.

Лабораторная работа №5

“Многоканальные системы передачи информации”

Цель работы

Ознакомиться с основными методами построения многоканальных систем передачи информации – частотным и временным разделением каналов.

Литература

1. Овсянников А.С. Теория информационных процессов и систем: В 2 ч. Ч.2. Основы телекоммуникационных систем: Допущено Уч.-метод. объедин. вузов по политехн. образов. в качестве учебного пособия для студентов спец. 071900-“Информационные системы и технологии” Самарск.гос.арх.-строит.ун-т. Самара, 2005. -112 с.
2. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов: Учебное пособие для вузов.-М.:Высш.шк.,1987.-248с.

Порядок выполнения работы

9. Запустить программу МСП.exe. Ознакомиться с пользовательским интерфейсом программы.
10. Получить от преподавателя задание (частоты гармонических сигналов, подаваемых на входы каналов систем передачи).
11. Настроить системы передачи. Просмотреть временные и частотные диаграммы в контрольных точках.
12. Для системы с частотным разделением каналов разработать диаграмму спектрообразования для передающей и приёмной частей систем передачи. При этом необходимые несущие частоты для преобразователей частоты берутся из соответствующего меню (жёлтые точки в нижней части передатчика и приёмника). Необходимо соблюдать условие стандартизации – на выходах преобразователей частоты полосовые фильтры должны выделять или только верхние или только нижние боковые частоты.
13. Для системы передачи с временным разделением каналов сигналы управления состоянием ключей (АИМ модуляторов) выбираются с учётом требований теоремы Котельникова. При этом необходимо учитывать типы сигналов, подаваемых на ключи разных каналов. Также должно выполняться условие стандартизации при выборе сигналов управления ключасми.
14. Подготовиться к устному отчёту по выполненной работе.

Требования к отчёту

5. Необходимо знать назначение всех блоков, исходя из условия необходимости их применения в схеме системы передачи..

6. Необходимо уметь определять частоту сигнала по временному его представлению и график временного представления по графику спектра сигнала.
7. Необходимо знать временное и спектральное представления сигналов на выходах всех блоков систем передачи при подаче на вход любого канала одночастотного гармонического сигнала и многочастотного полосного сигнала.
8. Уметь сформулировать практические требования, вытекающие из теоремы Котельникова, для системы с временным разделением каналов.

Контрольные вопросы

11. Сформулируйте назначение многоканальной системы передачи информации (МСП).
12. Какой метод модуляции применяется в МСП с частотным разделением каналов (ЧРК)?
13. Какой метод модуляции применяется в МСП с временным разделением каналов (ВРК)?
14. Полоса частот сигнала равна $0,7 - 5,1$ кГц. Чему равна частота дискретизации?
15. Каковы требования к несущим частотам передатчика и приёмника МСП с ЧРК?
16. Каковы требования к импульсным сигналам, управляющим состоянием ключей передатчика и приёмника МСП с ВРК?
17. Нарисуйте спектр сигнала АИМ. Поясните состав этого спектра.
18. Нарисуйте спектр сигнала на выходе преобразователя МСП с ЧРК. Поясните состав этого спектра.
19. Нарисуйте спектр сигнала на выходе передатчика МСП с ЧРК. Поясните состав этого спектра.
20. В чём разница в назначении полосовых электрических фильтров передатчика и приёмника МСП с ЧРК?
21. В чём разница в назначении ключей (АИМ модуляторов) передатчика и приёмника МСП с ВРК?
22. В чём разница в назначении фильтров нижних частот (ФНЧ) на выходе каналов МСП с ЧРК и ВРК?
23. Поясните необходимость ФНЧ на входе канала МСП с ВРК.
24. Какие физические процессы происходят с многоканальным сигналом в линии?
25. Поясните разницу между помехой и искажением сигнала.