

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор Морского колледжа

«Морской М.М. Майстришин
2026 г.

**Методические указания к выполнению
лабораторной работы №8 «Формирование линейных кодов»**

**по дисциплине ОП.07 Основы телекоммуникаций
по специальности 11.02.15 Инфокоммуникационные сети и системы связи**

**Севастополь
2026**

Методические указания к выполнению лабораторной работы №8 «Формирование линейных кодов» разработаны на основе рабочей программы ОП.07 Основы телекоммуникаций Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 11.02.15 Инфокоммуникационные сети и системы связи входящей в укрупненную группу специальностей 11.00.00 Электроника, радиотехника и системы связи

Организация-разработчик: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Разработчик:

Редькина Елена Александровна,

Методические указания к выполнению лабораторной работы №8 Тема: «Формирование линейных кодов»

Целью лабораторной работы является изучение основных линейных кодов, используемых в цифровых системах передачи синхронной и плезиохронной иерархий, а также параметров этих кодов, их положительных свойств и недостатков, областей применения.

1 Линейные коды

Сигнал, формируемый на выходе кодера, является обычным униполярным сигналом и не подходит для передачи по линейному тракту по ряду причин. Линейный сигнал должен отвечать следующим требованиям:

- 1) малая интенсивность низкочастотных составляющих, отсутствие постоянной составляющей в спектре сигнала;
- 2) малая интенсивность высокочастотных составляющих;
- 3) наличие информационной избыточности;
- 4) наличие устойчивых признаков синхронизации;
- 5) минимальная мощность передатчика.

Первое требование объясняется тем, что постоянная и низкочастотные составляющие не пропускаются через линейный тракт по причине наличия развязывающих емкостей и трансформаторов. Даже если попытаться передать такой сигнал, то он подвергнется серьезным искажениям, приводящим к плавному исчезновению постоянной составляющей. Воздействие указанных реактивных элементов на низкочастотную часть спектра сигнала можно упрощенно представить в виде дифференцирующей цепочки (рисунок 1.1).

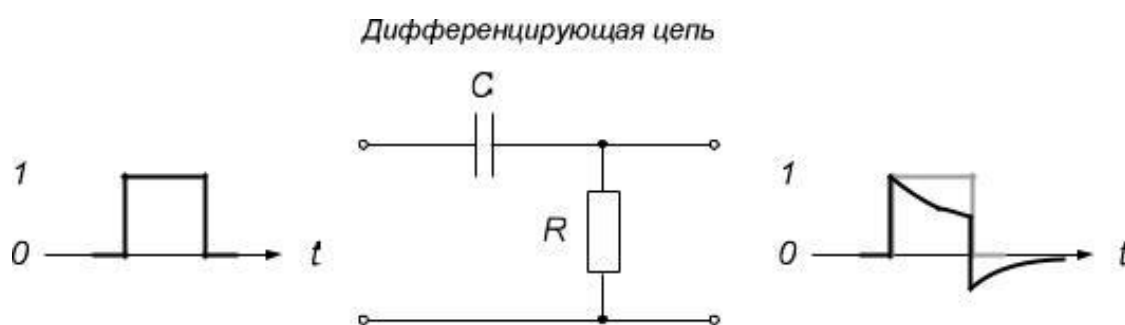


Рисунок 1.1 – Искажения формы сигнала вследствие подавления постоянной составляющей

Как известно, постоянная составляющая отвечает за формирование плоской вершины импульса и при удалении её из спектра сигнала появляются характерные искажения, называемые плаванием постоянной составляющей. Кроме того, после положительного импульса формируется характерный отрицательный импульс, который влияет на несколько последующих периодов сигнала.

Второе требование обусловлено тем, что линия связи большой протяженности ведет себя интегрирующая цепочка: параллельные проводники большой протяженности представляют собой распределенную емкость, а каждый из отдельных проводников с окружающим его магнитным полем – распределенную индуктивность (рисунок 1.2). В результате воздействия линии форма прямоугольных импульсов искажается: наличие реактивных элементов приводит к затягиванию фронта и среза импульсов, в результате чего на приемную сторону приходят ослабленные «колоколообразные» импульсы.

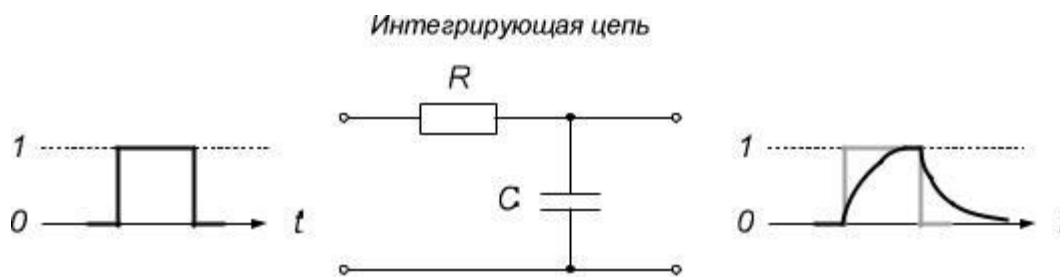


Рисунок 1.2 – Искажения формы сигнала вследствие подавления высокочастотных составляющих

Наличие информационной избыточности позволяет контролировать ошибки, а наличие устойчивых признаков синхронизации позволяет использовать самосинхронизацию линейного сигнала.

Информационная избыточность достигается либо за счет перехода от двухуровневых сигналов к трехуровневым, либо за счет расширения спектра сигнала и позволяет осуществлять контроль качества передачи путем подсчета количества ошибок либо передавать специальные служебные сигналы, такие как цикловой синхросигнал или сигнал аварии. В некоторых случаях избыточность может быть использована для устранения постоянной составляющей.

Синхронизация необходима для правильного определения середины тактового интервала на приеме и правильного опознавания отдельных символов. Если синхронизация приемной и передающей частей будет нарушена, то, соответственно, возможны ошибки в опознавании принимаемых символов и даже их потеря или повторное считывание. Чтобы избежать подобных ситуаций, приемное оборудование синхронизируется от принимаемого линейного сигнала путем выделения тактовой частоты. Естественно, для уверенной синхронизации оборудования требуется стабильный уровень тактовой частоты в спектре сигнала, что обеспечивается большим числом переходов линейного сигнала из 0 в 1 и обратно. Наоборот, длинные серии нулей и единиц не содержат тактовой частоты и способны привести к нарушению работы системы синхронизации. Поэтому важнейшим требованием к линейному сигналу является наличие у него хронизирующих свойств, способствующих синхронизации приемного и передающего оборудования.

Минимальная мощность передатчика позволяет свести к минимуму влияние на соседние цепи проводников. Если величина переходной помехи будет велика, то увеличивается вероятность помех в смежных линиях, а в некоторых случаях работа системы оказывается вообще невозможна.

Все множество линейных кодов разделяется на алфавитные и неалфавитные линейные коды. Алфавитные линейные коды в общем случае обозначаются следующим образом:

$$mBnL$$

Алфавитный код предусматривает преобразование кодовых групп из m двоичных символов в слова, состоящие из n символов с основанием L .

Для алфавитных кодов характерно изменение тактовой частоты:

$$k \cdot m \cdot n$$

Данная величина называется коэффициентом изменения тактовой частоты.

Избыточность линейного кода:

$$f_{mL} \log_2 n \cdot f_m \log_2 m; f_{mL} \log_2 n$$

$$1 \cdot f_L \log_2 m \cdot f_{mL} \log_2 n$$

2 Код без возвращения к нулю NRZ

В цифровой технике наиболее часто используемым кодом является однополярный двоичный код, в котором логическому уровню единицы соответствует некоторый положительный потенциал (+3 В), а нулю соответствует отсутствие напряжения (0 В). Такой сигнал обладает постоянной составляющей, зависящей от плотности потока единиц, а также слабыми хронизирующими свойствами, не позволяющими из него уверенно выделять тактовую частоту. Однако при передаче по линии связи желательно использовать сигнал с эквивалентной разницей в уровнях, симметрично сбалансированный относительно нуля. Так, например, средняя мощность, выделяемая на сопротивлении 1 Ом однополярным двоичным сигналом с амплитудами единицы и нуля +3 В и 0 В соответственно, составляет 4,5 Вт, тогда как при использовании уровней +1,5 В и -1,5 В та же самая помехозащищенность достигается при снижении требуемой мощности практически вдвое (2,25 Вт).

Поэтому в технике связи при передаче по линии целесообразно использовать не однополярный двоичный код, а двухполярный код со сбалансированными относительно нуля амплитудами. Поскольку уровень каждого сигнала поддерживается постоянным в течение всего тактового интервала, такой код называют кодом без возвращения к нулю (БВН) или NRZ (Non Return to Zero).

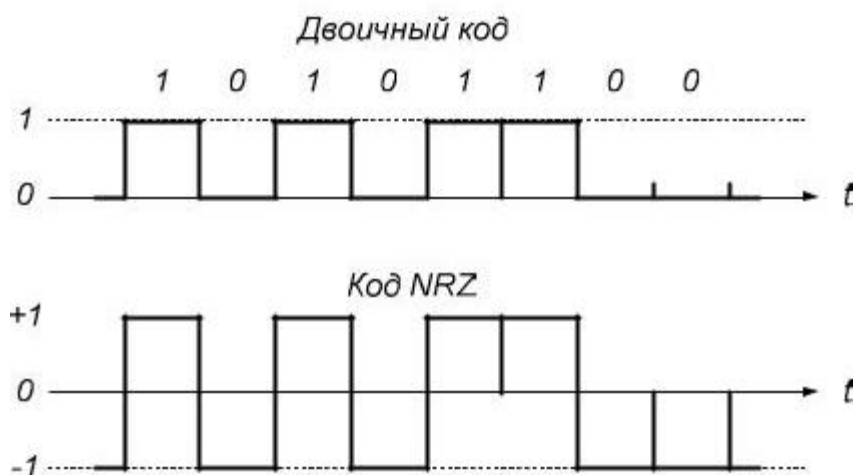


Рисунок 2.1 – Код без возвращения к нулю NRZ

Как видно из рисунка 2.1, код NRZ при длинных последовательностях 1 и 0 вообще не содержит переходов, поэтому его спектр описывается функцией $\sin(x)/x$ и содержит существенную постоянную составляющую. Действительно, именно постоянная и низкочастотные составляющие отвечают за формирование плоской вершины импульса, а высокочастотные составляющие обуславливаются фронтом и срезом импульса. Однако нам уже известно, что большинство линейных трактов не пропускают постоянную составляющую, поскольку подключаются к оконечному оборудованию через трансформаторы и разделительные емкости. Более того, зачастую из спектра линейного сигнала специально удаляют постоянную составляющую с тем, чтобы обеспечить возможность дистанционного питания регенераторов. Устранение постоянной и низкочастотных составляющих приводит к тому, что в длинных сериях нулей и единиц амплитуда сигнала постепенно уменьшается до нуля. Поэтому сигнал на приемной стороне в течение таких серий 1 и 0 теряет не только хронизирующую информацию, но и эталон амплитуды для оптимального различения единиц и нулей. Эффект среза низких частот называется плаванием постоянной составляющей и показан на рисунке 2.2.

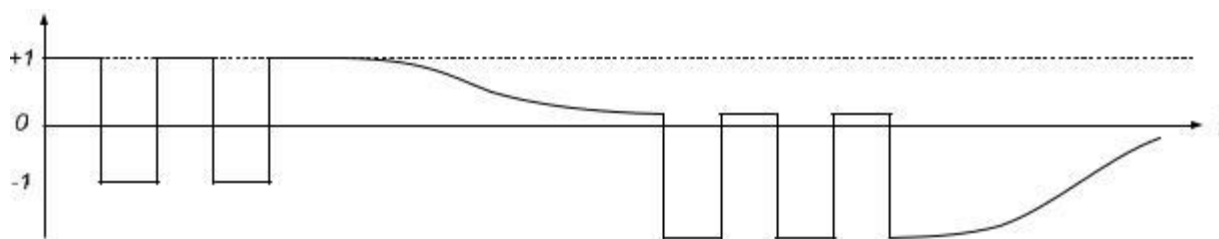


Рисунок 2.2 – Плавание постоянной составляющей в коде NRZ

Следует заметить, что эта проблема возникает не только при длинных сериях единиц и нулей, но и просто в случае несбалансированного числа 1 и 0. Указанный недостаток существенно сокращает область применения кода NRZ.

Плавание постоянной составляющей характерно не только для ЦСП. Так, при передаче цифровых данных между двумя компьютерами через аналоговую телефонную сеть требуется использование модемов. Дело в том, что аналоговая телефонная сеть также не пропускает постоянной составляющей, содержащейся в любом цифровом сигнале. С подобным явлением приходится бороться и в телевизионных и локационных приемниках.

Одним из эффективных способов борьбы с плаванием постоянной составляющей является использование решающей обратной связи, называемой также корректированием посредством

квантованной ОС. В таком случае плавание постоянной составляющей компенсируется формированием на приемной стороне низкочастотной реакции и добавлением ее к принимаемому сигналу. В результате восстанавливается исходный цифровой поток. Как видно из рисунка 2.3, восстановленный цифровой поток в цепи ОС проходит через ФНЧ, на выходе которого собственно и формируется сигнал, который теряется в линии. После добавления сигнала ОС к принимаемому сигналу полностью устраняется влияние линии.

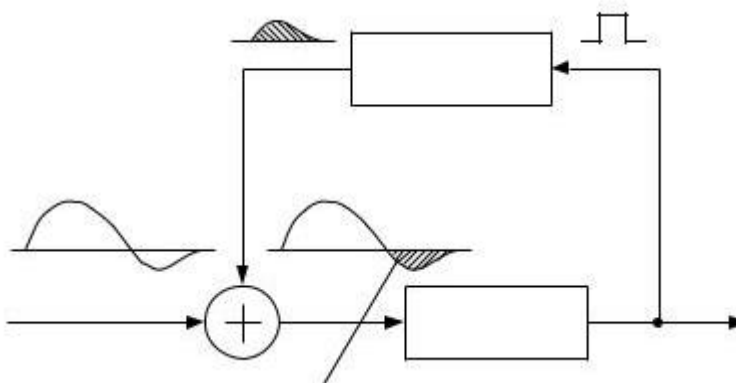


Рисунок 2.3 – Восстановление исходного сигнала с помощью квантованной обратной связи

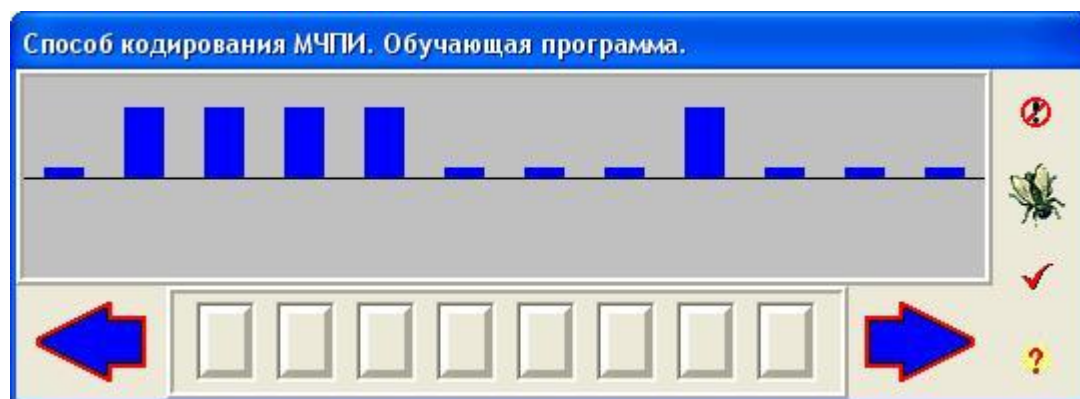
Задание на лабораторную работу:

1. Изучить принцип формирования символов линейного кода HDB3 (МЧПИ), который является наиболее распространенным кодом среди систем передачи с ИКМ. Для выполнения данного задания необходимо использовать программу «МЧПИ».

В программе в основном окне изображена диаграмма для исходного двоичного сигнала, для которого студенту требуется ввести сигнал в соответствии с линейным кодированием HDB-3. Нумерация импульсов ведется справа налево. Необходимо для заданной последовательности двоичных символов сформировать выходной сигнал линейного кода путем выбора соответствующих амплитуд сигналов: 0, +1 и -1. Ввод амплитуды очередного сигнала осуществляется путем нажатия левой кнопки мыши на соответствующей позиции временной диаграммы линейного кода. При вводе значений нужно руководствоваться двумя основными правилами кода HDB-3: правило чередования полярности импульсов и правило использования специальных вставок. Первое правило заключается в замене всех единичных импульсов на последовательность вида +1, -1, +1, -1 и так далее, где каждый последующий импульс кодируется импульсом противоположной полярности по сравнению с предыдущим; нули при этом остаются без изменений. Правило вставок формулируется следующим образом: каждая комбинация из четырех подряд идущих нулей заменяется на вставку вида 0001 или 1001. Вид вставки зависит от числа единичных элементов с момента последней вставки: если число единичных импульсов с момента последней вставки (или с момента начала кодирования) – нечетное, то используется вставка вида 0001, если четное – то вставка второго вида – 1001. Полярность импульсов внутри вставки определяется следующим правилом: для вставки вида 0001 полярность импульса во вставке совпадает с полярностью последнего единичного импульса линейного кода до этой вставки, а для комбинации вида 1001 оба импульса во вставке имеют одинаковую полярность, противоположную последнему импульсу до вставки (рисунок 2).

Интерфейс программы показан на рисунке 1.

При вводе значений следует помнить следующее: в данной программе отчет импульсов ведется справа налево, то есть самый первый импульс будет справа, причем он должен быть установлен в +1 (импульс красного цвета).



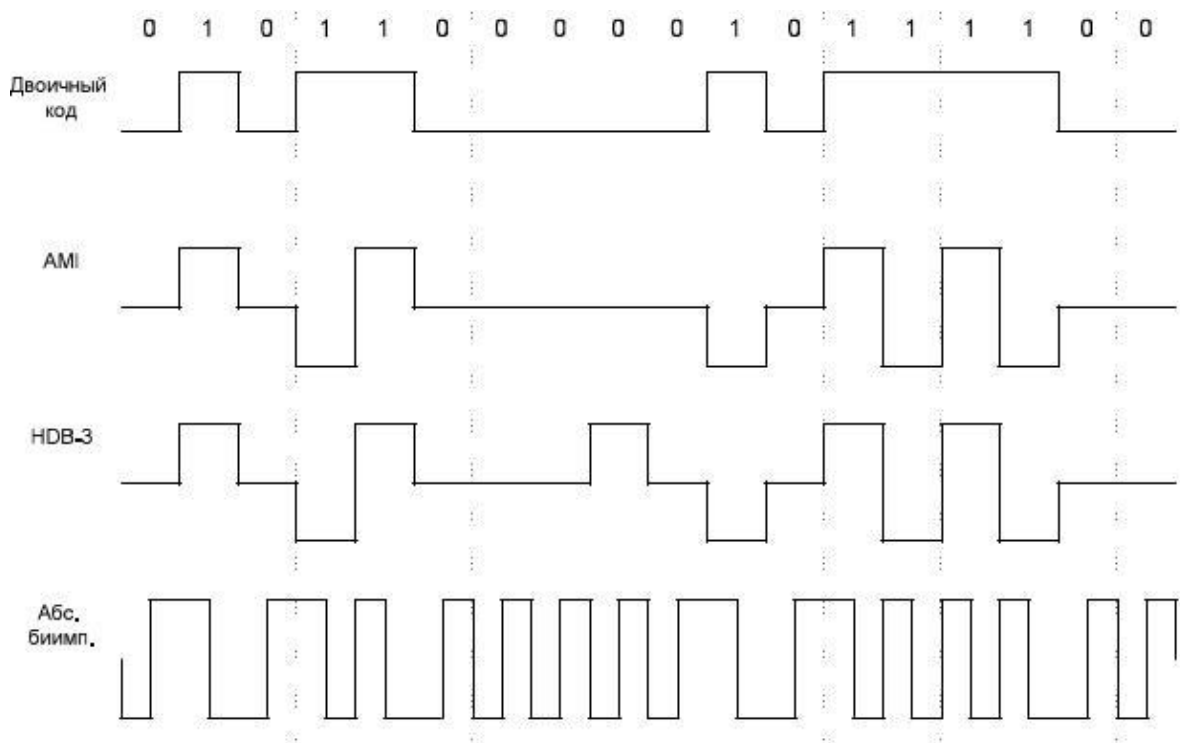
2. Для заданной последовательности символов двоичного кода (таблица 1) сформировать три эпюры линейных кодов. В выводе к лабораторной работе привести основные преимущества и недостатки указанных видов линейных кодов, а также привести примеры их использования в ЦСП на практике.

Таблица 1 – Индивидуальные задания на лабораторную работу по вариантам

Вариант	Кодовая комбинация	Линейный код №1	Линейный код №2	Линейный код №3
1	00110101011110	HDB-3	NRZ	CMI
2	11101111000100	NRZ	AMI	Отн. биимп.
3	10010000011100	AMI	CMI	Абс. биимп.
4	10001111111110	2B1Q	AMI	NRZ
5	10101011110100	4B3T	CMI	HDB-3
6	00001011110110	PST	HDB-2	CMI
7	00101111101110	HDB-2	4B3T	AMI
8	1111111100100	AMI	PST	Отн. биимп.
9	00000111111000	CMI	Абс. биимп.	B2ZS
10	00011110111100	NRZ	4B3T	PST

11	10011101010111	4B/5B	NRZ	CMI
12	11111110111000	NRZ	AMI	Отн. биимп.
13	01001010111110	AMI	CMI	Абс. биимп.
14	01110111111000	2B1Q	AMI	NRZ
15	10101111100010	4B3T	CMI	HDB-3
16	10100101011111	PST	HDB-2	CMI
17	00101010110110	HDB-2	4B3T	AMI
18	01001101111100	AMI	PST	Отн. биимп.
19	10101111110100	CMI	Абс. биимп.	B8ZS
20	01010111111111	NRZ	4B3T	PST

Пример выполнения:



Требования к отчету:

Отчет о проделанной работе должен быть оформлен в полном соответствии с СТО 4.2-07 «Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности» и включать в себя: титульный лист, цель лабораторной работы, графики линейных сигналов и заключение. После представления отчета преподавателю требуется ответить на контрольные вопросы, а в случае успешной защиты отчет сдать преподавателю.

Вопросы к защите:

1. Искажения в цифровом линейном тракте и методы их исправления.
2. Понятия алфавитного и неалфавитного кода. Параметры кода.
3. Основные виды линейных кодов.
4. Спектр обычного двоичного однополярного кода.
5. Параметры и частотный спектр кода NRZ. Область применения.
6. Параметры и частотный спектр кода AMI. Область применения.
7. Параметры и частотный спектр абс. биимпульсного кода. Область применения.
8. Параметры и частотный спектр относит. биимпульсного кода. Область применения.
9. Параметры и частотный спектр кода HDB-3. Область применения.
10. Параметры и частотный спектр кода CMI. Область применения.
11. Параметры и частотный спектр кода 2B1Q. Область применения.

Список литературы:

1. Дибров, М. В. Сети и телекоммуникации. Маршрутизация в IP-сетях : учебник и практикум для среднего профессионального образования / М. В. Дибров. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Юрайт, 2023. — 423 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-16551-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/531278> (дата обращения: 29.11.2023).