

УДК 656.2

Гумаров А. Р.

Аспирант

*ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей
сообщения»*

Россия, г. Самара

СПОСОБЫ МОДУЛЯЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация: В статье рассмотрены различные способы модуляции сигналов. Представлены системы телеуправления и телесигнализации на железнодорожном транспорте и способы передачи сигналов в них. Рассмотрены достоинства и недостатки способов модуляции. Сделан вывод о необходимости изучения и разработки способов передачи информации.

Ключевые слова: модуляция, амплитудная модуляция (АМ), частотная модуляция (ЧМ), фазовая модуляция (ФМ), амплитудная манипуляция (АМн), частотная манипуляция (ЧМн), фазовая манипуляция (ФМн), автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного действия (АЛСН).

Gumarov A. R.

Postgraduate

Samara state University of railway transport»

Russia, Samara

MODULATION METHODS AND THEIR APPLICATION IN RAILWAY TRANSPORT

Abstract: The article considers various methods of signal modulation. The paper presents remote control and telesignalization systems for railway transport and methods of transmitting signals in them. The advantages and

disadvantages of modulation methods are considered. It is concluded that it is necessary to study and develop ways of transmitting information.

Keywords: modulation, amplitude modulation (AM), frequency modulation (FM), phase modulation (FM), Amplitude Shift Keying (ASK), Frequency Shift Keying (FSK), Phase Shift Keying (PSK), automatic continuous locomotive signaling (ALSN).

Введение

Модуляция – это процесс изменения характеристики несущей частоты в соответствии с входным сигналом. Модуляция служит для облегчения передачи несущего информацию сигнала по каналу связи с заданной полосой пропускания.

Поскольку распространение и скорость сетей передачи данных продолжают расширяться, эффективность использования полосы пропускания канала связи становится все более важной. Это особенно актуально для широкополосной связи, где обработка цифрового сигнала осуществляется с учетом доступных ресурсов полосы пропускания канала связи.

Модуляция имеет очень большое значение в передаче информации. Информация может быть либо аналоговой, либо цифровой, где носитель представляет собой высокочастотную синусоидальную форму волны.

Большой интерес к системам передачи данных обусловлен стремительным их развитием и ростом потребности в повышении скоростей передачи данных при различных условиях приёма. Особенно это важно в системах передачи информации на железнодорожном транспорте. В системах, которые обеспечивают безопасность. Такие как, Система автоматической локомотивной сигнализация, системы автоблокировки.

Устройства передачи на железнодорожном транспорте

По применению и функциональному назначению устройства передачи сигналов можно разделить на три основные группы:

- для передачи дискретных сообщений в системах телеграфной связи;
- для организации каналов связи, входящие в технологическое оборудование и обеспечивающие обмен информацией в автоматизированных системах управления технологическими процессами,
- для передачи данных с последующей обработкой на ЭВМ или уже обработанных ими.

К первой группе относится аппаратура тонального телеграфирования, используемая для передачи. Ко второй группе относятся системы диспетчерской централизации («Нева», «Луч») и др. К третьей группе передачи данных автоматизированных систем управления железнодорожным транспортом и др. [1, с. 627].

На железнодорожном транспорте наиболее распространены системы ТУ–ТС, применяются в станционных системах кодового управления, в диспетчерской централизации, диспетчерском контроле, кодовой автоблокировке, автоматической локомотивной сигнализации [2, с. 193].

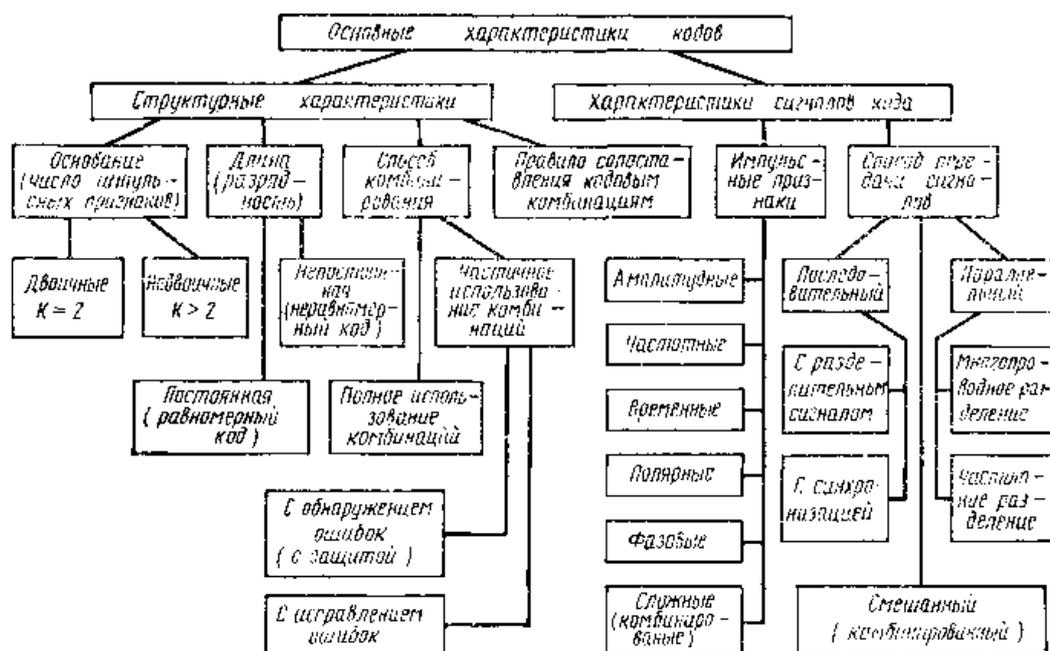


Рисунок 1 – Классификация основных характеристик кодов

Сигнал – это материальный переносчик информации (сообщения). Каждому состоянию источника сообщений соответствует свой сигнал. Для различения сигналов на приемном конце необходимо, чтобы у них были разные каналы связи при одинаковой их форме или разные формы при одном и том же канале связи.

Для передачи сигналов можно использовать модуляцию следующих параметров переменного тока: амплитуды, частоты, фазы, длительности, а также формы импульса.

Амплитудные признаки. Отличие импульсов при амплитудных признаках заключается в различных амплитудах тока (напряжения).

Временные признаки. Различие между импульсами (интервалами) заключается в различной их продолжительности.

Частотные признаки. Импульсы при частотных признаках различаются частотой синусоидальных колебаний. Генерирование частотных импульсов осуществляют генераторами частоты.

Частотные признаки дают возможность использовать большое число признаков (частот) и допускать одновременную передачу нескольких частот и, следовательно, нескольких приказов.

Фазовые признаки. Импульсы при фазовых признаках различают фазами тока. Они мало подвержены искажениям.

Полярные признаки. При полярных признаках импульсы различаются направлением тока [2, с. 194].

Модуляция – процесс наложения информации, которая имеет вид сигнала сообщения на другой сигнал с более высокой частотой, который называется несущей [3, с. 136].

Аналоговая модуляция

Аналоговая модуляция связана с изменением параметров несущего гармонического колебания (амплитуды, частоты и фазы).

Немодулированное высокочастотное колебание:

$$y = U_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = U_m \sin \theta, \quad (1)$$

где U_m – амплитуда колебания, ω_0 – круговая частота, φ_0 – начальная фаза (при $t = 0$), θ – фаза колебания в момент времени t .

Амплитудная модуляция (АМ) – информация, относящаяся к сигналу сообщения, находится в огибающей:

$$y = U_0 \sin \omega_0 t + \frac{MU_0}{2} \sin(\omega_0 + \Omega) t + \frac{MU_0}{2} \sin(\omega_0 - \Omega) t. \quad (2)$$

Частота и фаза постоянные, амплитуда изменяется по закону модулирующего сигнала. Полоса частот АМ–сигнала в два раза шире, чем полоса частот самого модулирующего сигнала.

Балансно–модулированное (БМ) – без несущей:

$$y = 0.5kUU_m \cos(\omega_0 + \Omega)t + \cos(\omega_0 - \Omega) t. \quad (3)$$

Балансная модуляция, в которой передаваемая волна состоит только из верхней и нижней боковых полос. Передаваемая мощность здесь сохраняется за счет подавления несущей волны, но требование к ширине полосы канала такое же.

Однополосная модуляция. Для фильтрового способа:

$$y = U \cos(\omega_0 + \Omega) t. \quad (4)$$

Однополосная модуляция, в которой модулированная волна состоит только из верхней боковой полосы или нижней боковой полосы.

Угловая модуляция (УМ) – это вид угловой модуляции, при которой угол несущей волны изменяется в соответствии с информационным сигналом. При УМ является амплитуда несущего колебания неизменна.

Фазовая модуляция (ФМ) – вид угловой модуляции, в которой мгновенный угол изменяется линейно с сигналом сообщения. Принципиально ФМ ничем не отличается от ЧМ, и временная диаграмма ФМ – сигнала и его частотного спектра не будет отличаться от ЧМ

сигнала:

$$y = U_m \sin(\omega_0 t + m \sin \Omega t). \quad (5)$$

Частотная модуляция (ЧМ) – это вид угловой модуляции, при которой мгновенная частота изменяется линейно с сигналом сообщения. Изменение частоты происходит пропорционально амплитуде модулирующего сигнала:

$$y = U_m \sin(\omega_0 t + m \sin(\Omega t + \varphi)), \quad (6)$$

где ω_0 – средняя частота колебания (немодулированная частота),
 Ω – частота модуляции. [4, с. 61]

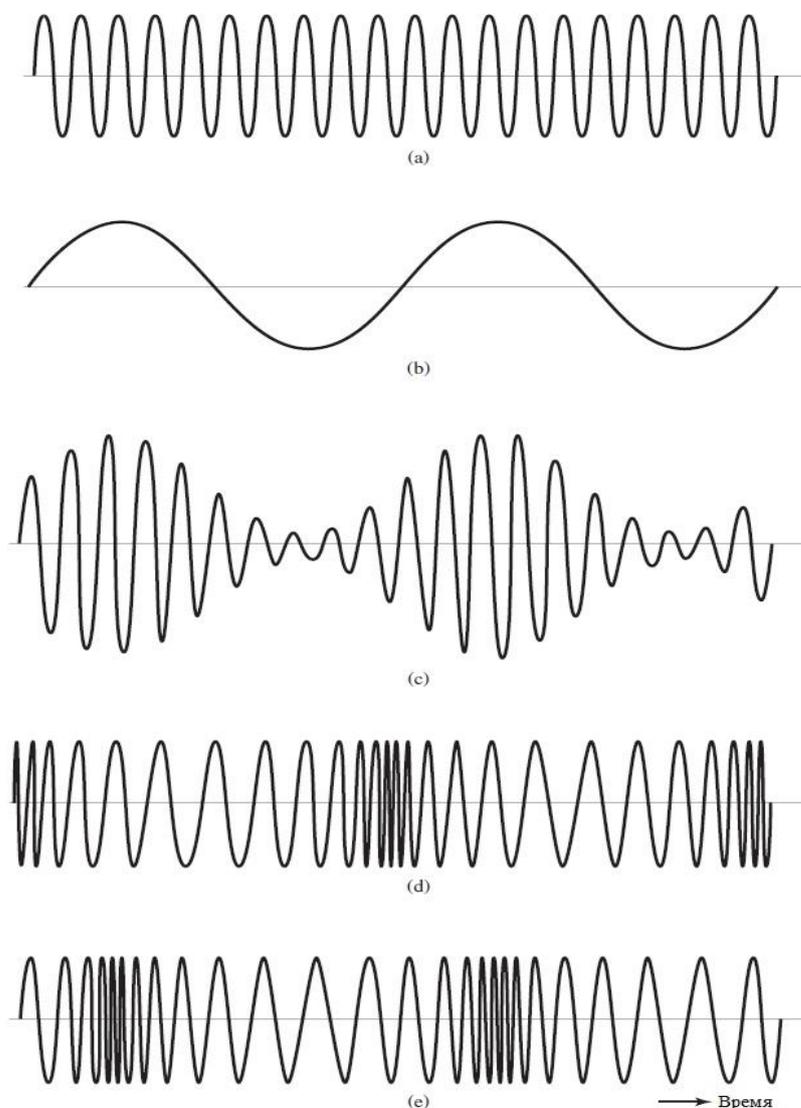


Рисунок 2 – Аналоговая модуляция. а) несущий сигнал, б) информационный сигнал, с) амплитудно-модулированный сигнал, d)

частотно-модулированный сигнал, е) фазово-модулированный сигнал [5, с. 155]

Цифровая модуляция

Все больше информации передается по каналам связи, представляется в цифровом виде. При модуляции сигнала–носителя дискретным модулирующим сигналом называется манипуляцией.

Амплитудная манипуляция характеризуется импульсным изменением постоянной амплитуды сигнала–носителя. Результирующий ток модулированного сигнала можно представить как сумму токов несущей частоты f_0 , верхней и нижней боковых полос частот $f_0 \pm 1/2t_0$, $f_0 \pm 2/2$ и т.д., где $t_0 \pm 1/B$, B – скорость модуляции.

Частотная манипуляция (ЧМн, FSK – Frequency Shift Keying) характеризуется изменением частоты несущего колебания. При ЧМн, так же как при АМн, модулированный сигнал состоит из несущей $f_0 = (f_{01} + f_{02})/2$ и боковых полос частот, расположенных симметрично:

$$\begin{aligned} u_{AM1}(t) &= U_m \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \\ u_{AM2}(t) &= U_m \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (7)$$

Фазовая манипуляция (ФМн, PSK – Phase Shift Keying). Фазовая манипуляция предполагает изменение фазы несущего сигнала в зависимости от передаваемого символа. Каждому из символов модуляции соответствует одно значение фазы несущего сигнала.

Спектр двоичной ФМн совпадает с АМн, но в спектре ФМн сигнала отсутствует несущая частота. Это свойство двоичной ФМн, позволяет примерно в два раза повысить уровень боковых полос по сравнению с двоичными АМн сигналами, в спектре которых присутствует несущая частота. Увеличение уровней боковых полос повышает помехозащищенность ФМн сигналов по сравнению с АМн и ЧМн:

$$\begin{aligned}
 u_{\text{ФМ1}}(t) &= U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \\
 u_{\text{ФМ2}}(t) &= U_m \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi) = -U_m \sin(\omega t + \varphi_0)
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Изменение же фазы несущей частоты приводит к изменению полярности посылок на выходе фазового демодулятора на обратную, т.е. к приему символа сообщения «1» вместо переданного «0» и наоборот. Для устранения этого недостатка была предложена относительная фазовая модуляция.

Относительная фазовая манипуляция (ОФМн, DPSK – Differential Phase Shift Keying). При относительной фазовой манипуляции в зависимости от значения поступающих импульсов, как и при ФМн, изменяется только фаза сигнала при неизменной амплитуде и частоте. Фактически при ОФМн происходит вначале перекодирование исходной последовательности импульсов, а только затем модуляция (на вход модулятора поступила двоичная последовательность «10110», а модулированной последовательности соответствует – «11011»).

Основное применение на практике получила многопозиционная ОФМ: двукратная (ДОФМ), трехкратная (ТОФМ) и т. д. Проблема ОФМ высокой кратности состоит в том, что для ее применения требуется каналы высокого качества.

Квадратурная амплитудная модуляция (КАМ, QAM – Quadrature Amplitude Modulation). При квадратурной модуляции, являющейся также многопозиционной, изменяется как амплитуда, так и фаза сигнала, что позволяет увеличить число позиций модулированного сигнала.

Квадратурное представление сигнала заключается в выражении колебания линейной комбинацией двух ортогональных составляющих – синусоидальной и косинусоидальной:

$$u(t) = x(t) \sin(\omega t + \varphi) + y(t) \cos(\omega t + \varphi),
 \tag{9}$$

где $x(t)$ и $y(t)$ двуполярные дискретные сигналы [4, с 626].

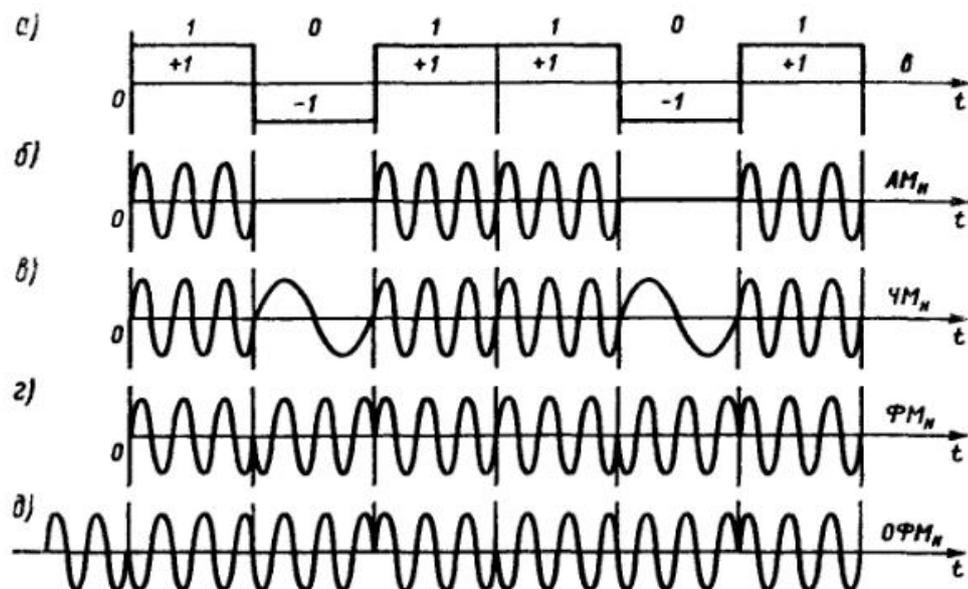


Рисунок 3 – Цифровая модуляция. а) цифровой сигнал, б) амплитудная манипуляция, в) частотная манипуляция, г) фазовая манипуляция, д) относительная фазовая модуляция [4, с. 104]

Импульсная модуляция

Носителем информации может быть последовательность импульсов. Существует три вида импульсной модуляции: амплитудно–импульсная, широтно–импульсная, время импульсная.

Амплитудно–импульсная модуляция (АИМ) представляет собой изменение амплитуды последовательности импульсов в соответствии с передаваемым сигналом. АИМ в интервале между импульсами можно передавать импульсы других каналов.

Широтно–импульсная модуляция (ШИМ) характеризуется тем, что в качестве несущего колебания используется периодическая последовательность прямоугольных импульсов, а информационным параметром является их длительность.

Времяимпульсная модуляция (ВИМ) характеризуется тем, что модулированный сигнал представляет собой неравномерную

последовательность импульсов фиксированной длительности [6, с. 97].

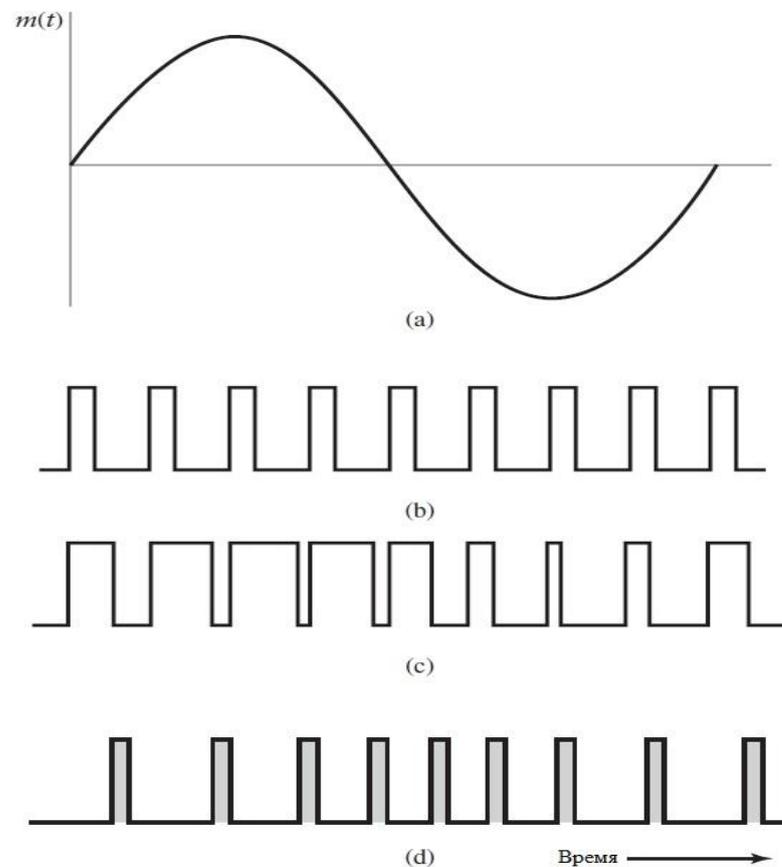


Рисунок 4 – Импульсная модуляция. а) информационный сигнал, б) несущий сигнал, с) широтно–импульсная модуляция, д) времяимпульсная модуляция [5, с. 25]

Сигналы телеуправления и телесигнализации

В системах телеуправления и телесигнализации на железнодорожном транспорте, в частности в диспетчерской централизации, в большинстве случаев используется кодово–распределительный метод избирания. Приказы всем объектам выбранной группы передаются за один цикл.

Для передачи команд управления в системе полярно–частотной диспетчерской централизации (ПЧДЦ) используются полярные

импульсные знаки. Время передачи команды управления составляет примерно 3 с.

В диспетчерской централизации с циклическим контролем системы «Нева» для передачи управляющих и известительных приказов применяют частотные импульсные признаки. Управляющий приказ содержит 19 импульсов, его четные импульсы передаются частотами f_1 и f_2 (500 и 600 Гц), нечетные – f_3 и f_4 (700 и 800 Гц).

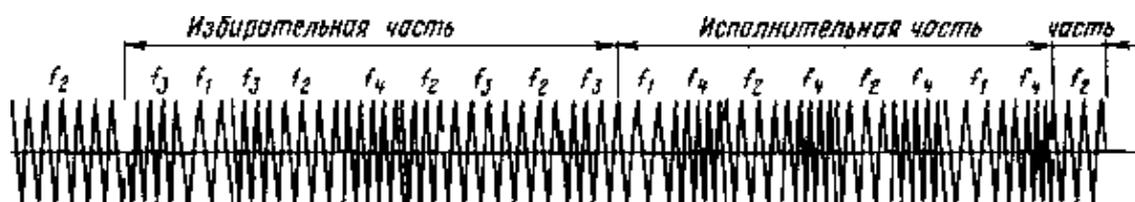


Рисунок 5 – Построение управляющих приказов в диспетчерской централизации системы «Нева» [7. с. 18]

Построение сигнала ТУ. Этот сигнал содержит нулевой импульс, передаваемый всегда частотой f_1 , и 18 рабочих импульсов.

Длительность нулевого и завершающего 18-го импульса 200 мс, длительность каждого из 17 остальных импульсов 50 мс. Полная длительность передачи сигнала ТУ $2 \cdot 200 + 17 \cdot 50 = 1250$ мс.

Построение сигнала ТС. Сигнал ТС состоит из нулевого импульса (запроса разрешения на передачу), 19 рабочих импульсов и завершающего 20-го импульса.

Для выбора: исполнительных цепей применяется двухступенчатое избирание (группа, исполнительная цепь); группы импульсы с 1-го по 9-й, исполнительных цепей – импульсы с 10-го по 19-й.

Длительность нулевого импульса 150 мс, завершающего – 120 мс, а каждого из 19 рабочих импульсов – 10 мс. Полная длительность сигнала ТС $150 + 120 + 10 \cdot 19 = 460$ мс.

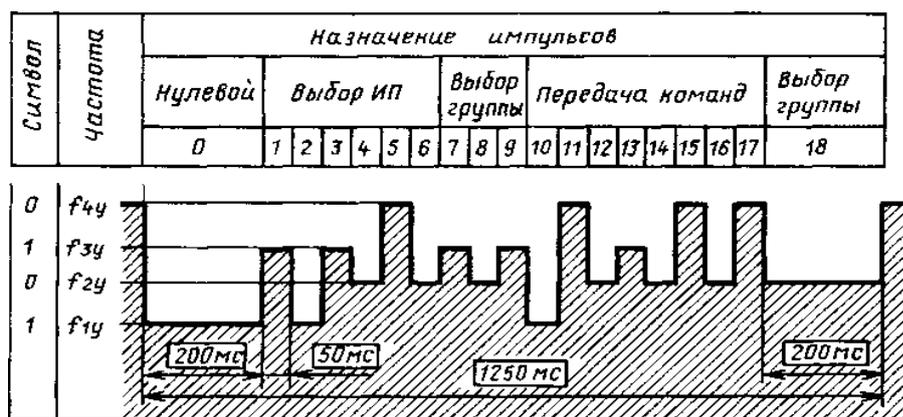


Рисунок 6 – Построение сигнала ТУ ЧДЦ [8, с. 97]

Автоматическая локомотивная сигнализация единого ряда (АЛСН)

В системе АЛСН происходит амплитудная модуляция сигнала. При амплитудной модуляции (АМ) амплитуда изменяется в соответствии с передаваемым низкочастотным сигналом.

АМ менее помехозащищена чем угловая модуляция (УМ). Любое воздействие помех и случайных воздействий напряжений изменяют амплитуду АМ сигнала.

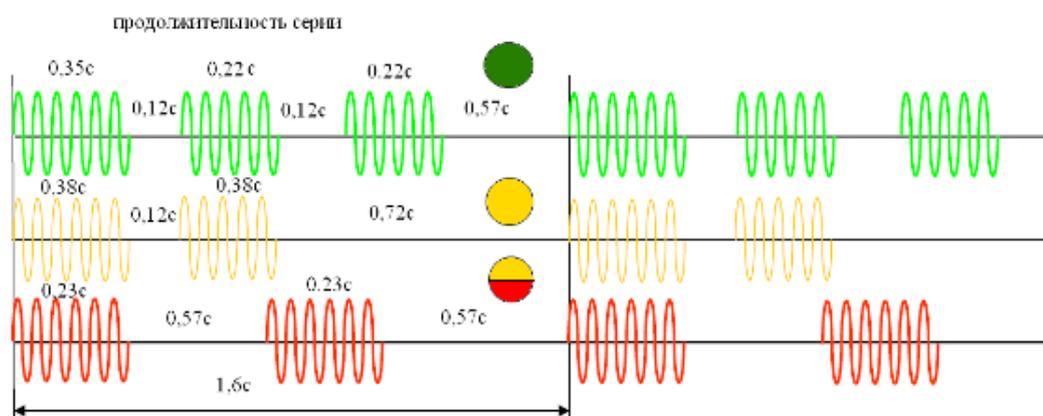


Рисунок 7 – Несущие кодовых комбинаций, вырабатываемых кодовыми путевыми трансмиттерами

Многозначная локомотивная сигнализация единого ряда (АЛС–ЕН)

Многозначная система передачи информации на локомотив типа АЛС–ЕН начинает использоваться на железных дорогах РФ. Частота сигнала АЛС–ЕН 174,38 Гц.

С помощью двукратной фазоразностной модуляции можно организовать два независимых фазовых подканала со скоростью передачи 10,9 бит/с. АЛС–ЕН способна передать 1 байт информации за 0,8 с, что значительно больше информации чем передаваемой АЛСН.

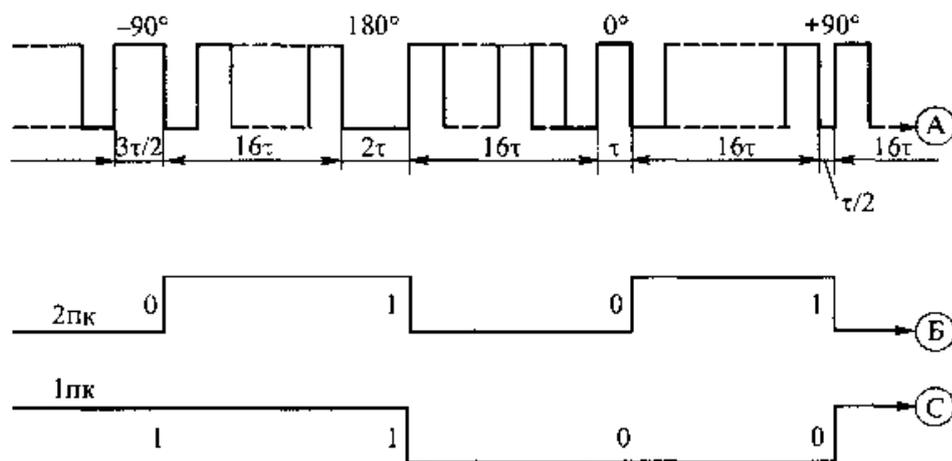


Рисунок 8 – Временная диаграмма сигналов (А) для передачи сообщений по двум подканалам (Б и С) [9, с. 28]

ФМ в отличие от АМ имеет лучшее соотношение сигнал/шум. Амплитуда АМ сигнала в два раза выше, чем ЧМ и ФМ сигналов, при одинаковом отношении сигнала к шуму.

Системы автоблокировки

На базе тональных рельсовых цепей создано несколько типов автоблокировки.

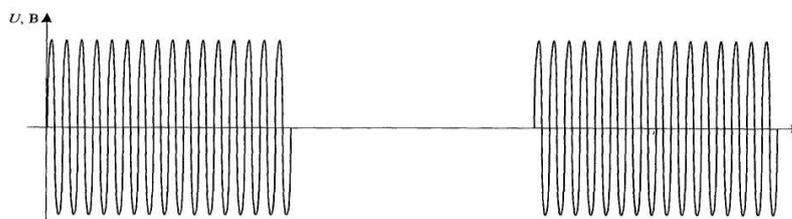


Рисунок 9 – Форма сигнала генератора тональной рельсовой цепи

В ТРЦ использован амплитудно–модулированный сигнал. Этот тип сигнала позволяет повысить безопасность приемных устройств от воздействия гармонических и импульсных помех тягового тока и других источников помех. В качестве несущей частоты используются следующие частоты: 420; 480; 580; 720 и 780 Гц, а также 4,5; 5,0 и 5,5 кГц. В качестве модулирующей частоты используется частота 8 или 12 Гц.

	ЦАБ	ЦАБ-М (АЛСО)	АБТс (АБ-ПСБ)	ЦАБс	АБТ	АБТЦ
Исполнение	центр.	центр.	децентр.	центр.	децентр.	центр.
Проходные светофоры	нет	нет	есть	есть	есть	есть
ИС на границах БУ	нет	нет	есть	есть	нет	нет
Использование на участках с ПСБ	-	-	+	-	-	-
Тип ТРЦ	1-е поколение	2-е поколение	ТРЦ3	ТРЦ3	ТРЦ3, ТРЦ4	ТРЦ3
Используемые несущие частоты ТРЦ, Гц	425, 475	425, 475, (575)	420, 480, (580)	420, 480, (580)	420, 480, (580); 4545, 5000, 5555	420, 480, 580, 720, 780

Рисунок 10 – Разновидности релейных систем АБ с ТРЦ [10, с. 113]

Заключение

Модуляция служит для облегчения передачи несущего информацию сигнала по каналу связи с заданной шириной канала. При непрерывно–волновой модуляции это становится возможным благодаря изменению амплитуды или угла синусоидальной несущей волны.

Выбор того или иного вида модуляции зависит от условий связи и тех свойств, которыми должен обладать канал связи. Например, при одновременной работе большого количества близких по несущей частоте радиостанций используется АМ, для ослабления действия помех – ЧМ.

Важность и необходимость операций кодирования и модуляции обусловлены тем, что эти операции позволяют не только отобразить сообщение в сигнале, но и наделить сигнал нужными свойствами: распространяться на дальние расстояния, противостоять помехам, не создавать помехи другим системам связи.

Несмотря на все увеличивающуюся долю цифровых способов модуляции сигналов в технике – на железнодорожном транспорте много систем используют аналоговые дискретные способы модуляции сигналов. Особенно такие важные системы, как АЛСН и ТРЦ, обеспечивающие безопасность движения поездов. В связи с этим необходимо продолжать исследование в области передачи информации, повышая надежность систем на железнодорожном транспорте.

Использованные источники:

1. Шмытинский В.В., Глушко В.П., Казанский Н.А Многоканальная связь на железнодорожном транспорте. Учебник для вузов ж.-д. транспорта/Под ред. Шмытинского В.В. – М.: ГОУ «Учебно–методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 704 с.

2. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учебник для вузов / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, В. В. Сапожников и др.; Под ред. А. С. Переборова.— 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1984.— 384 с.

3. Рид Р. Основы теории передачи информации. М: Вильямс, 2004. 304 с.

4. Горелов Г.В. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте: учебник. М.: УМЦ ЖДТ, 2013. 532 с.

5. S. Haykin, M. Moher. Introduction to Analog and Digital Communications Second Editio. – 2007. – 544 p.

6. Литвинская О.С. Основы теории передачи информации: учебное пособие / О.С. Литвинская, Н.И. Чернышёв. – М.: КНОРУС, 2015. – 168 с.

7. Основы железнодорожной автоматики и телемеханики: [Учеб. для техникумов ж.-д. трансп.] / В. С. Дмитриев, И. Г. Серганов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 287 с.

8. Карвацкий, С. Б., Пенкин Н. Ф., Малинникова Т. В. Телеуправление стрелками и сигналами: учебник для техникумов ж.-д. транспорта – 2-у изд., перераб. И доп. – М.: Транспорт, 1985. – 224 с.

9. Унифицированное комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ–У): Учебное пособие / В.И. Астрахан, В.И. Зорин, Г.К. Кисельгоф и др.; Под ред. В.И. Зорина и В.И. Астрахана. – М.: ГОУ «Учебно–методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 177 с.

10. Федоров Н.Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: Учебное пособие. – Самара: СамГАПС, 2004. – 132с.