

Лабораторная работа № 4

«Методы аналогового и цифрового кодирования»

Введение

Среды передачи данных предоставляют только потенциальную возможность передачи информации. Для того чтобы передатчик и приёмник, соединённые некоторой средой, могли обмениваться информацией, им необходимо договориться о том, какие сигналы будут соответствовать единице информации [1].

При передаче дискретных данных по каналам связи применяются два основных типа физического кодирования – на основе синусоидального несущего сигнала и на основе последовательности прямоугольных импульсов. Первый способ часто называется также модуляцией или аналоговой модуляцией, подчёркивая тот факт, что кодирование осуществляется за счёт изменения параметров аналогового сигнала. Второй способ обычно называют цифровым кодированием. Эти способы отличаются шириной спектра результирующего сигнала и сложностью аппаратуры, необходимой для их реализации [2].

При использовании прямоугольных импульсов спектр результирующего сигнала получается весьма широким. Применение синусоиды приводит к спектру гораздо меньшей ширины при той же скорости передачи информации. Однако для реализации синусоидальной модуляции требуется более сложная и дорогая аппаратура, чем для реализации прямоугольных импульсов [2].

В настоящее время всё чаще данные, изначально имеющие аналоговую форму – речь, телевизионное изображение, – передаются по каналам связи в дискретном виде, то есть в виде последовательности единиц и нулей. Процесс представления аналоговой информации в дискретной форме называется дискретной модуляцией. Термины «модуляция» и «кодирование» часто используют как синонимы [2].

Аналоговая модуляция

Исторически модуляция начала применяться для аналоговой информации и только потом — для дискретной. Необходимость в модуляции аналоговой информации возникает, когда нужно передать низкочастотный аналоговый сигнал через канал, находящийся в высокочастотной области спектра. Примером такой ситуации является передача голоса по радио или телевидению. Голос имеет спектр шириной примерно в 10000 Гц, а радиодиапазоны включают гораздо более высокие частоты, от 30000 Гц до 300 МГц. Ещё более высокие частоты используются в телевидении. Непосредственно голос через такую среду передать нельзя [1].

Для решения проблемы амплитуду высокочастотного несущего сигнала изменяют (модулируют) в соответствии с изменением низкочастотного голосового сигнала (рисунок 1). При этом спектр результирующего сигнала попадает в нужный высокочастотный диапазон. Такой тип модуляции называется амплитудной модуляцией (Amplitude Modulation, AM). В качестве информационного параметра используют не

только амплитуду несущего синусоидального сигнала, но и частоту. В этих случаях речь идёт о частотной модуляции (Frequency Modulation, FM) [1].

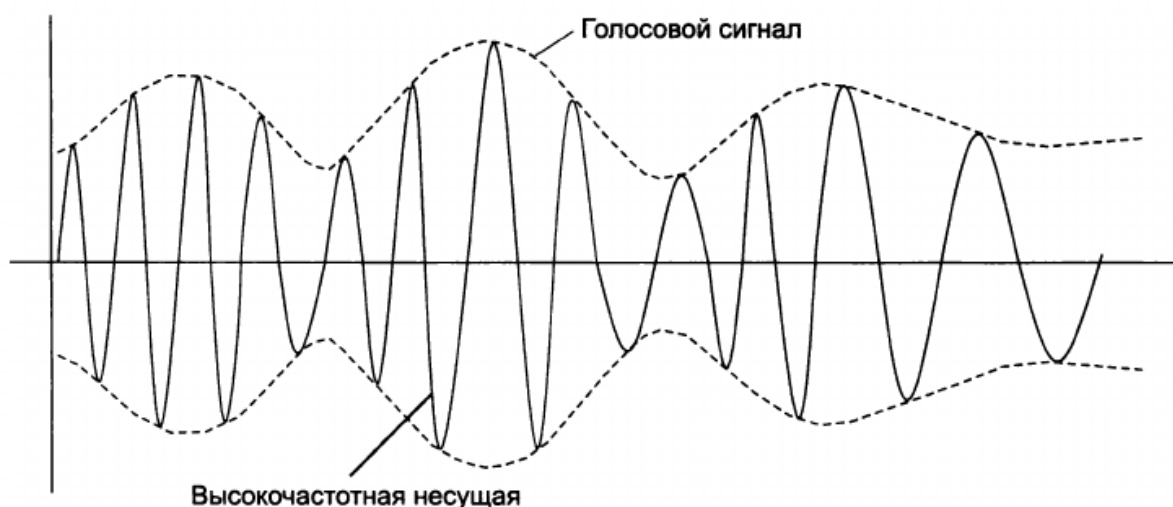


Рисунок 1 – Модуляция голосовым сигналом

При передаче дискретной информации посредством модуляции единицы и нули кодируются изменением амплитуды, частоты или фазы несущего синусоидального сигнала. В случае, когда модулированные сигналы передают дискретную информацию, вместо термина «модуляция» иногда используется термин «манипуляция»: амплитудная манипуляция (Amplitude Shift Keying, ASK), частотная манипуляция (Frequency Shift Keying, FSK), фазовая манипуляция (Phase Shift Keying, PSK) [1].

Самый известный пример применения модуляции при передаче дискретной информации – это передача компьютерных данных по телефонным каналам. Этот составной канал проходит через коммутаторы телефонной сети и соединяет телефоны абонентов. Канал тональной частоты передаёт частоты в диапазоне от 300 до 3400 Гц, таким образом, его полоса пропускания равна 3100 Гц. Такая узкая полоса пропускания вполне достаточна для качественной передачи голоса, однако она недостаточно широка для передачи компьютерных данных в виде прямоугольных импульсов. Решение проблемы было найдено благодаря аналоговой модуляции. Устройство, которое выполняет функцию модуляции несущей синусоиды на передающей стороне и обратную функцию демодуляции на приёмной стороне, носит название модем (модулятор-демодулятор) [1].

На рисунке 2 показаны различные типы модуляции, применяемые при передаче дискретной информации. Исходная последовательность битов передаваемой информации приведена на диаграмме, представленной на рисунке 2, а [1].

При амплитудной модуляции (рисунок 2, б) для логической единицы выбирается один уровень амплитуды синусоиды несущей частоты, а для логического нуля – другой. Этот способ редко используется в чистом виде на практике из-за низкой помехоустойчивости, но часто применяется в сочетании с другим видом модуляции – фазовой модуляцией [2].

При частотной модуляции (рисунок 2, в) значения 0 и 1 исходных данных передаются синусоидами с различной частотой – f_0 и f_1 . Этот способ модуляции не требует сложных схем в модемах и обычно применяется в низкоскоростных модемах, работающих на скоростях 300 или 1200 бит/с [2].

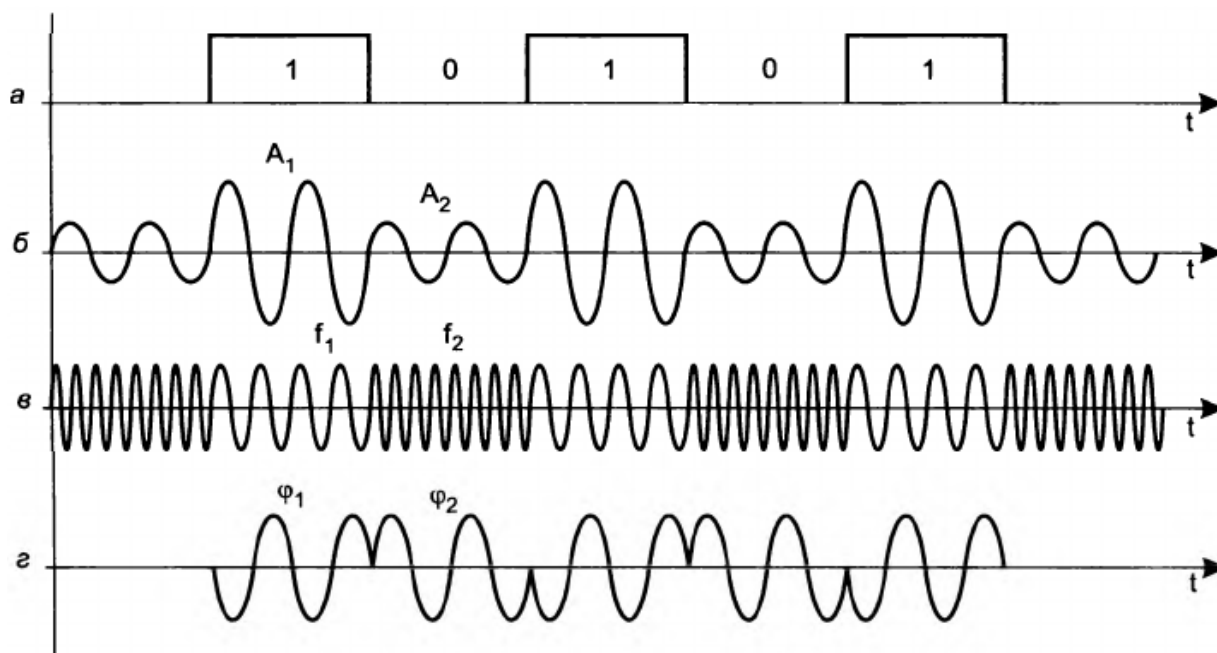


Рисунок 2 – Различные типы модуляции

При фазовой модуляции (рисунок 2, г) значения данных 0 и 1 соответствуют сигналам одинаковой частоты, но с различной фазой, например 0 и 180 градусов или 0, 90, 180, и 270 градусов [2].

В скоростных модемах часто используются комбинированные методы модуляции, как правило, амплитудная в сочетании с фазовой [2].

Амплитудная модуляция

Амплитудная модуляция меняет амплитуду колебания – в простейшем случае, «контуры» итоговой волны начинают повторять контуры сигнала [3].

По одной из версий, впервые передачу речи и музыки через радиоволны методом амплитудной модуляции осуществил американский и канадский инженер Реджинальд Фессенден, ставший, тем самым, первым радиоведущим [3].

Первую передачу звука по радио он произвел в 1900 году, а в 1906 году – провёл трансатлантическую радиосвязь с музыкой и голосом. Первая в мире радиопрограмма состояла из краткой приветственной речи, музыки немецкого композитора Фридриха Генделя, собственной игры Фессендена на скрипке и отрывка из Библии [3].

В опытах Фессендена несущая волна частотой в 50 кГц вырабатывалась электромашинным генератором, но с 1920 года инженеры начали использовать в этих целях генераторы на электронных лампах [3].

После 1930 годов, когда учёные освоили ультракороткие волны, амплитудная модуляция начала вытесняться из радиовещания частотной модуляцией, хотя из-за дороговизны нового альтернативного оборудования для радиовещания этот процесс происходил постепенно. Сегодня подавляющее большинство профессиональных радиостанций осуществляют вещание с помощью частотной модуляции [3].

В конце XX века начался переход к цифровому радиовещанию с использованием сигналов с амплитудной манипуляцией. В начале 2000-х, специально для замены аналогового радиовещания, был разработан комплект цифровых технологий Digital Radio Mondiale (DRM). Стандарт был принят многими странами, утверждён Международной электротехнической комиссией IEC, а также ITU для применения в большей части мира. DRM позволяет прослушивать радиопередачи без шумов и помех, характерных для амплитудной модуляции и с качеством близким к ЧМ (FM) вещанию, однако массового отказа от АМ модуляции не произошло. Это связано с большими расходами на замену огромного парка радиоприёмного и радиопередающего оборудования, а также с некоторыми недостатками цифровой модуляции, проявляющихся в неприятных для радиослушателя, резких обрывах радиоприема при, характерных для коротких волн, глубоких замираниях радиосигнала. Благодаря традиции, амплитудная модуляция до сих пор применяется в системе УКВ (ультракороткие волны) радиосвязи гражданской авиации, а так же используется водителями-дальнобойщиками в диапазоне СВ (средние волны) [4].

В амплитудной модуляции для единицы выбирается один уровень амплитуды, для нуля – другой. Частота и фаза – постоянные. В чистом виде редко используется из-за низкой помехоустойчивости. Пример приведён на рисунке 3.

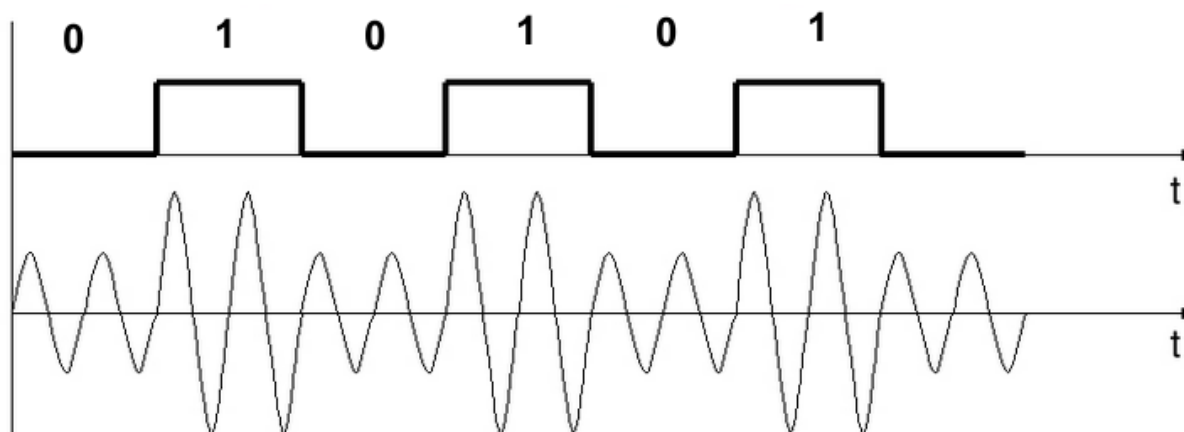


Рисунок 3 – Амплитудная модуляция

Частотная модуляция

Изобретателем системы передачи сигналов методом частотной модуляции (FM, ЧМ) считается Корнелиус Д. Эрст (США, 1902 год), но в течение почти 30 лет это изобретение не находило практического применения. В 1933 году американский радиоинженер Эдвин Армстронг предложил использовать широкополосную ЧМ для радиовещания, получив к этому времени четыре патента по результатам своих

экспериментов с ЧМ. Армстронг уже в 1920-х годах занимался проблемой помех в радиоприёмниках. До этого, в 1914 году он запатентовал регенеративный радиоприемник, в 1918 году – супергетеродинный и в 1922 году — сверхрегенеративный. Демонстрация радиосвязи с использованием ЧМ состоялась 5 ноября 1935 года в Институте радиоинженеров (предшественник IEEE) в Нью-Йорке, где Армстронг выступил с докладом на тему «Способ уменьшения нарушений радиосвязи системой частотной модуляции». Имеются сведения, что 5 октября 1924 года профессор Михаил Александрович Бонч-Бруевич на научно-технической беседе в Нижегородской радиолaborатории сообщил об изобретённом им новом способе телефонирования, основанном на изменении периода колебаний. Демонстрация частотной модуляции производилась на лабораторной модели [5,6].

Частотная модуляция – для единицы выбирается одна частота, для нуля – другая. Амплитуда и фаза – постоянные. Основные преимущества ЧМ, перед АМ — энергоэффективность и помехоустойчивость. Используется в низкоскоростных модемах. Пример приведён на рисунке 4.

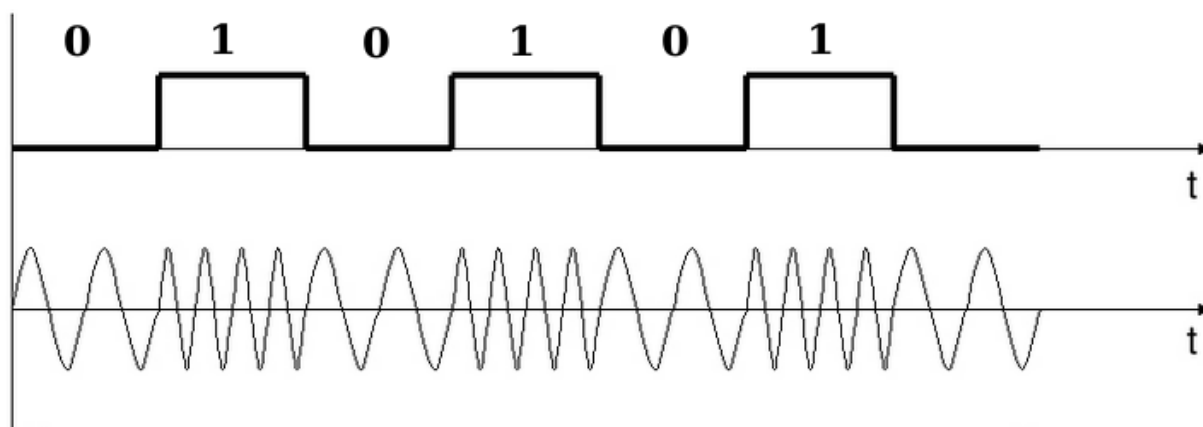


Рисунок 4 – Частотная модуляция

Фазовая модуляция

Фазовая модуляция широко используется для передачи радиоволн и является неотъемлемой частью многих схем кодирования цифровой передачи, которые лежат в основе широкого спектра технологий, таких как Wi-Fi, GSM и спутниковое телевидение.

Фазовая модуляция – для единицы выбирается одна фаза, для нуля – другая. Амплитуда и частота – постоянные. Недостаток данной модуляции в том, что ошибка в одном символе, может привести к некорректному приёму всех последующих. Используется в низкоскоростных модемах. Пример приведён на рисунке 5.

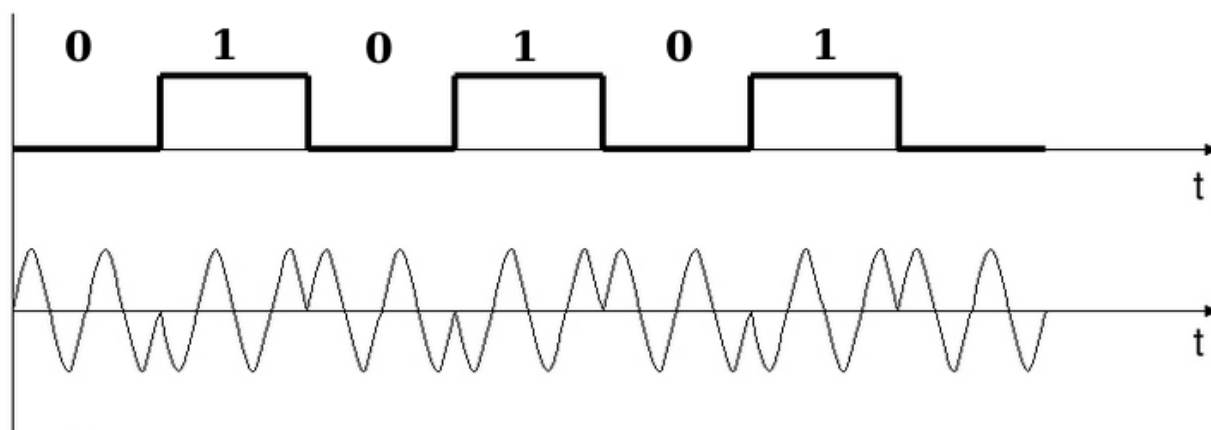


Рисунок 5 – Фазовая модуляция

Цифровое кодирование

При цифровом кодировании дискретной информации применяют потенциальные и импульсные коды. В потенциальных кодах для представления логических единиц и нулей используется только значение потенциала сигнала, а его перепады во внимание не принимаются. Импульсные коды позволяют представить двоичные данные либо импульсами определённой полярности, либо частью импульса – перепадом потенциала определённого направления [2].

При использовании прямоугольных импульсов для передачи дискретной информации необходимо выбрать такой способ кодирования, который одновременно достигал бы нескольких целей:

- имел при одной и той же битовой скорости наименьшую ширину спектра результирующего сигнала;
- обеспечивал синхронизацию между передатчиком и приёмником;
- обладал способностью распознавать ошибки;
- обладал низкой стоимостью реализации [2].

Более узкий спектр сигналов позволяет на одной и той же линии добиваться более высокой скорости передачи данных. Часто к спектру сигнала предъявляется требование отсутствия постоянной составляющей [2].

Синхронизация передатчика и приёмника нужна для того, чтобы приёмник точно знал, в какой момент времени считывать новую порцию информации с линии связи. При передаче дискретной информации время всегда разбивается на такты одинаковой длительности и приёмник старается считать новый сигнал в середине каждого такта, то есть синхронизировать свои действия с передатчиком [1].

Проблема синхронизации в сетях решается сложнее, чем при обмене данными между близко расположенными устройствами, например между блоками внутри компьютера. На небольших расстояниях хорошо работает схема, основанная на отдельной тактирующей линии связи, так что информация снимается с линии данных только в

момент прихода тактового импульса. В сетях использование этой схемы вызывает трудности из-за неоднородности характеристик проводников в кабелях. На больших расстояниях неравномерность скорости распространения сигнала может привести к тому, что тактовый импульс придёт настолько позже или раньше соответствующего сигнала данных, что бит данных будет пропущен или считан повторно. Другой причиной, по которой в сетях отказываются от использования тактирующих импульсов, является экономия проводников в дорогостоящих кабелях [1].

В сетях для решения проблемы синхронизации применяются так называемые самосинхронизирующиеся коды, сигналы которых несут для приёмника указания о том, в какой момент времени начать распознавание очередного бита (или нескольких битов, если код ориентирован более чем на два состояния сигнала). Любой резкий перепад сигнала – фронт — может служить указанием на необходимость синхронизации приёмника с передатчиком [1].

При использовании синусоид в качестве несущего сигнала результирующий код обладает свойством самосинхронизации, так как изменение амплитуды несущей частоты даёт возможность приёмнику определить момент очередного такта [1].

Распознавание и коррекцию искажённых данных сложно осуществить средствами физического уровня, поэтому чаще всего эту работу берут на себя вышележащие протоколы: канальный, сетевой, транспортный или прикладной. В то же время распознавание ошибок на физическом уровне экономит время, так как приёмник не ждёт полного помещения кадра в буфер, а отбраковывает его сразу при распознавании ошибочных битов внутри кадра [1].

Требования, предъявляемые к методам кодирования, являются взаимно противоречивыми, поэтому каждый из рассматриваемых далее популярных методов кодирования обладает своими достоинствами и недостатками в сравнении с другими [1].

Потенциальный код NRZ (Non Return to Zero)

На рисунке 6, а показан метод потенциального кодирования, называемый также кодированием без возвращения к нулю (Non Return to Zero, NRZ). Последнее название отражает то обстоятельство, что при передаче последовательности единиц сигнал не возвращается к нулю в течение такта [2].

Достоинства метода NRZ:

- простота реализации;
- хорошая распознаваемость кода (благодаря наличию двух резко отличающихся потенциалов);
- основная гармоника f_0 имеет достаточно низкую частоту (равную $N/2$ Гц, где N — битовая скорость передачи данных), что приводит к относительно узкому спектру [1].

Недостатки метода NRZ:

- Метод не обладает свойством самосинхронизации. Длинная последовательность единиц или нулей приводит к тому, что сигнал не изменяется в течение многих тактов, так что приёмник не имеет возможности синхронизироваться с передатчиком.
- Наличие низкочастотной составляющей, которая приближается к постоянному сигналу при передаче длинных последовательностей единиц или нулей. Из-за этого многие линии связи, не обеспечивающие прямого гальванического соединения между приёмником и источником, этот вид кодирования не поддерживают [1].

Not Return to Zero (NRZ) – код без возврата к нулю. Нулевому биту соответствует высокий уровень напряжения в кабеле, единичному – низкий уровень (или наоборот). В течение битового интервала (времени передачи одного бита) изменений уровня сигнала не происходит. Несамосинхронизирующийся код. Невозможно определить начало и конец данных. Пример применения – RS232.

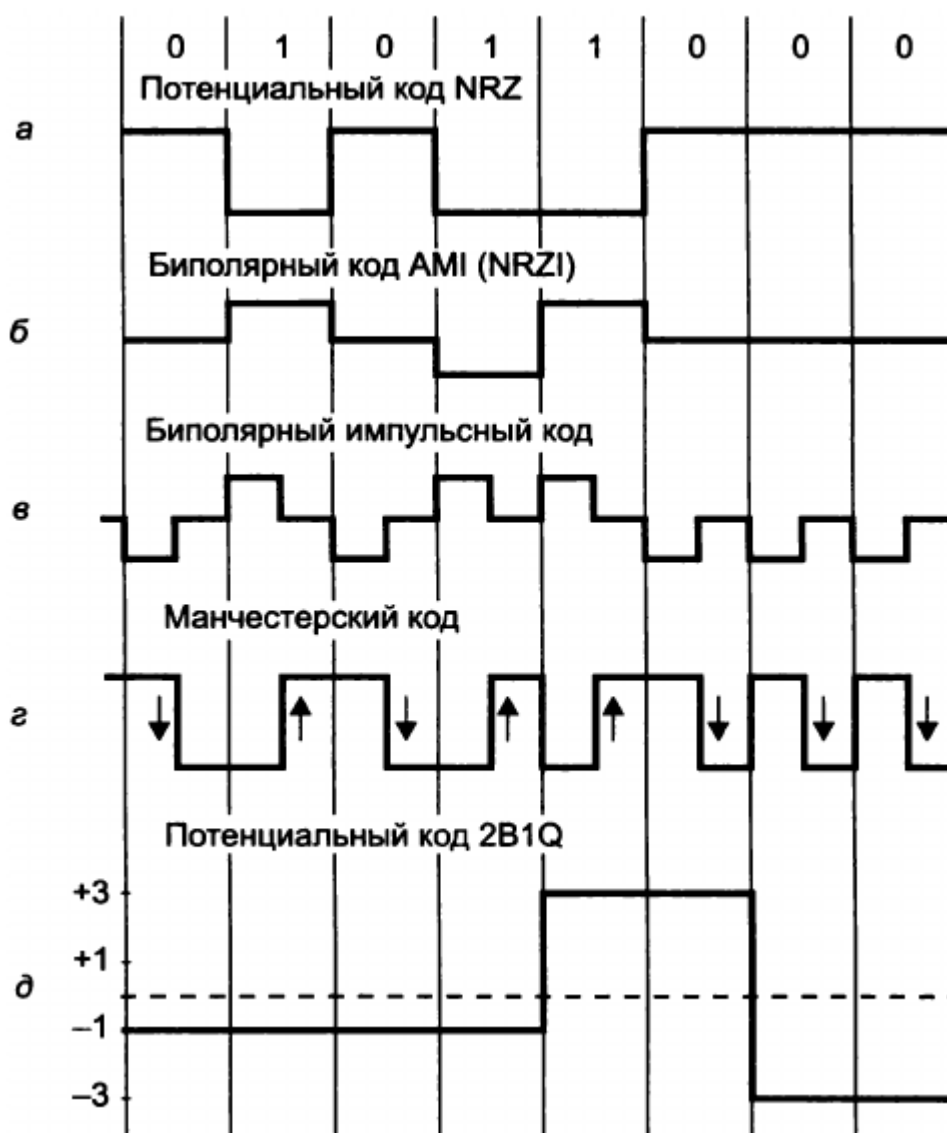


Рисунок 6 – Способы дискретного кодирования данных

Биполярное кодирование AMI (Alternate Mark Inversion)

Одной из модификаций метода NRZ является метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией (Alternate Mark Inversion, AMI). В этом методе применяются три уровня потенциала — отрицательный, нулевой и положительный (рисунок 6, б). Для кодирования логического нуля используется нулевой потенциал, а логическая единица кодируется либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой единицы противоположен потенциалу предыдущей [1].

При передаче длинных последовательностей единиц код AMI частично решает проблемы наличия постоянной составляющей и отсутствия самосинхронизации, присущие коду NRZ. В этих случаях сигнал на линии представляет собой последовательность разнополярных импульсов с тем же спектром, что и у кода NRZ, передающего чередующиеся нули и единицы, то есть без постоянной составляющей и с основной гармоникой $N/2$ Гц (где N — битовая скорость передачи данных). Длинные же последовательности нулей для кода AMI столь же опасны, как и для кода NRZ, — сигнал вырождается в постоянный потенциал нулевой амплитуды [1].

Потенциальный код NRZI (Non Return to Zero with ones Inverted)

Потенциальный код с инверсией при единице (Non Return to Zero with ones Inverted, NRZI) при передаче нуля сохраняет потенциал, который был установлен на предыдущем такте, а при передаче единицы инвертирует на противоположный.

Код NRZI обладает лучшей самосинхронизацией, чем NRZ, так как при передаче единицы сигнал меняется. Тем не менее при передаче длинных последовательностей нулей сигнал не меняется (например, при передаче последних трёх нулей на рисунок 6, а), и значит, у приёмника исчезает возможность синхронизации с передатчиком на значительное время, что может приводить к ошибкам распознавания данных [1].

Этот код удобен в тех случаях, когда использование третьего уровня сигнала нежелательно, где устойчиво распознаются два состояния сигнала — свет и тень [2].

Not Return to Zero with ones Inverted (NRZi) — код без возврата к нулю с инверсией при единице. Единичному биту соответствует переключение уровня напряжения в начале битового интервала, нулевому — сохранение уровня. Несамосинхронизирующийся код. Невозможно определить начало и конец данных. Пример приведён на рисунке 7.

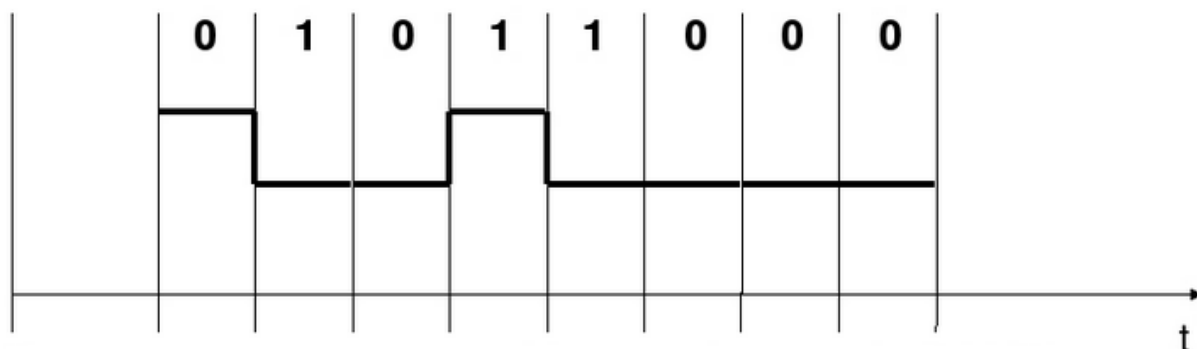


Рисунок 7 – Пример потенциального кода NRZI

Биполярный импульсный код

Помимо потенциальных кодов в сетях используются импульсные коды, в которых данные представлены полным импульсом или же его частью – фронтом. Наиболее простым кодом такого рода является биполярный импульсный код, в котором единица представляется импульсом одной полярности, а ноль — другой (рисунок 6, в). Каждый импульс длится половину такта. Подобный код обладает отличными самосинхронизирующими свойствами, но постоянная составляющая может присутствовать, например, при передаче длинной последовательности единиц или нулей. Кроме того, спектр у него шире, чем у потенциальных кодов. Так, при передаче всех нулей или единиц частота основной гармоники кода равна N Гц, что в два раза выше основной гармоники кода NRZ и в четыре раза выше основной гармоники кода АМІ при передаче чередующихся единиц и нулей. Из-за слишком широкого спектра биполярный импульсный код используется редко [1].

Манчестерский код

В локальных сетях построенных по технологии Ethernet был распространён так называемый манчестерский код (рисунок 6, г). Он применялся, например, в технологии 10 Мбит/с Ethernet [1].

В манчестерском коде для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала, то есть фронт импульса. При манчестерском кодировании каждый такт делится на две части. Информация кодируется перепадами потенциала, происходящими в середине каждого такта. Единица кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а ноль — обратным перепадом. В начале каждого такта может происходить служебный перепад сигнала, если нужно представить несколько единиц или нулей подряд. Так как сигнал изменяется по крайней мере один раз за такт передачи одного бита данных, то манчестерский код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами. Полоса пропускания манчестерского кода уже, чем у биполярного импульсного. Манчестерский код имеет ещё одно преимущество перед биполярным импульсным кодом. В последнем для передачи данных используются три уровня сигнала, а в манчестерском – два [1].

Манчестерский код (Манчестер-II). Нулевому биту соответствует положительное переключение в центре битового интервала, единичному – отрицательное переключение. Используется только 2 уровня сигнала. Самосинхронизирующийся код. Приёмник может определить начало и конец данных. Примеры применения – Ethernet (10 Мбит/с), Token Ring.

Потенциальный код с четырьмя уровнями сигнала для кодирования данных

На рисунке 6, д показан потенциальный код с четырьмя уровнями сигнала для кодирования данных. Это код 2В1Q, название которого отражает его суть – каждые два бита (2В) передаются за один такт сигналом, имеющим четыре состояния (1Q). Паре бит 00 соответствует потенциал -3 В, паре бит 01 соответствует потенциал -1 В, паре 11 – потенциал +1 В, а паре 10 – потенциал +3 В. При этом способе кодирования требуются дополнительные меры по борьбе с длинными последовательностями одинаковых пар бит, так как при этом сигнал превращается в постоянную составляющую. При случайном

чередовании бит спектр сигнала в два раза уже, чем у кода NRZ, так как при той же битовой скорости длительность такта увеличивается в два раза. Таким образом, с помощью кода 2B1Q можно по одной и той же линии передавать данные в два раза быстрее, чем с помощью кода AMI или NRZI. Однако для его реализации мощность передатчика должна быть выше, чтобы четыре уровня чётко различались приёмником на фоне помех.

Код 2B1Q. Использует 4 уровня напряжения для кодирования 2 битов данных, например: 00 – $-U_1$, 01 – $-U_2$, 10 – $+U_2$, 11 – $+U_1$. Несамосинхронизирующийся код. Приёмник не может определить начало и конец данных. Требуется увеличенная мощность источника для чёткого определения приёмником уровней сигнала.

Цифровое кодирование RZ (Return to Zero)

Формирование сигнала происходит по следующему правилу: код является трёхуровневым, при котором обеспечивается возврат к нулевому уровню после передачи значащего интервала. Информационный переход осуществляется в начале значащего интервала, возврат к нулевому уровню – в середине значащего интервала, далее уровень является нулевым до конца значащего интервала. Возврат к нулю обеспечивает синхронизацию тактовой частоты формирования сигналов передатчика с тактовой частотой приёмника. Логическому нулю соответствует переход на верхний уровень, логической единице переход на нижний уровень. В процессе синхронизации физическая привязка к синхронной последовательности на приёмной стороне осуществляется на каждом значащем интервале.

Цифровое кодирование Return to Zero (RZ) – код с возвратом к нулю. Нулевому биту соответствует положительное переключение уровня напряжения в начале битового интервала, единичному – отрицательное переключение. В середине битового интервала происходит возврат к исходному уровню сигнала. Самосинхронизирующийся код. Приёмник может определить начало и конец данных. Пример приведён на рисунке 8.

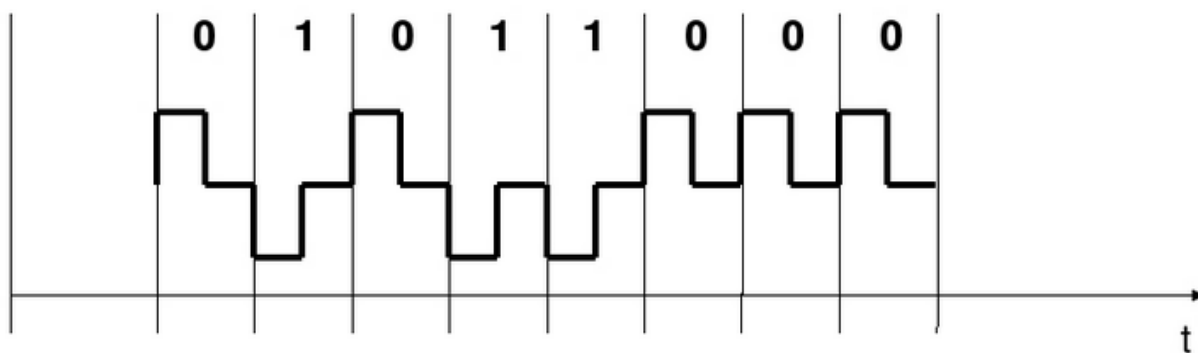


Рисунок 8 – Пример кодирования Return to Zero

Лабораторная работа

Цель: изучение методов аналогового и цифрового кодирования информации.

Задачи лабораторной работы:

- аналитический обзор методов аналогового и цифрового кодирования информации;
- практическое изучение аналоговых методов модуляции сигналов: АМ, FM, РМ;
- изучение цифрового кодирования информации на практических примерах: NRZ, RZ, манчестерский код;
- закрепление знаний методов аналогового и цифрового кодирования информации.

Амплитудная модуляция сигнала из двоичных данных

Пример кодирования числа 01100010 методом АМ представлен на рисунке 9.

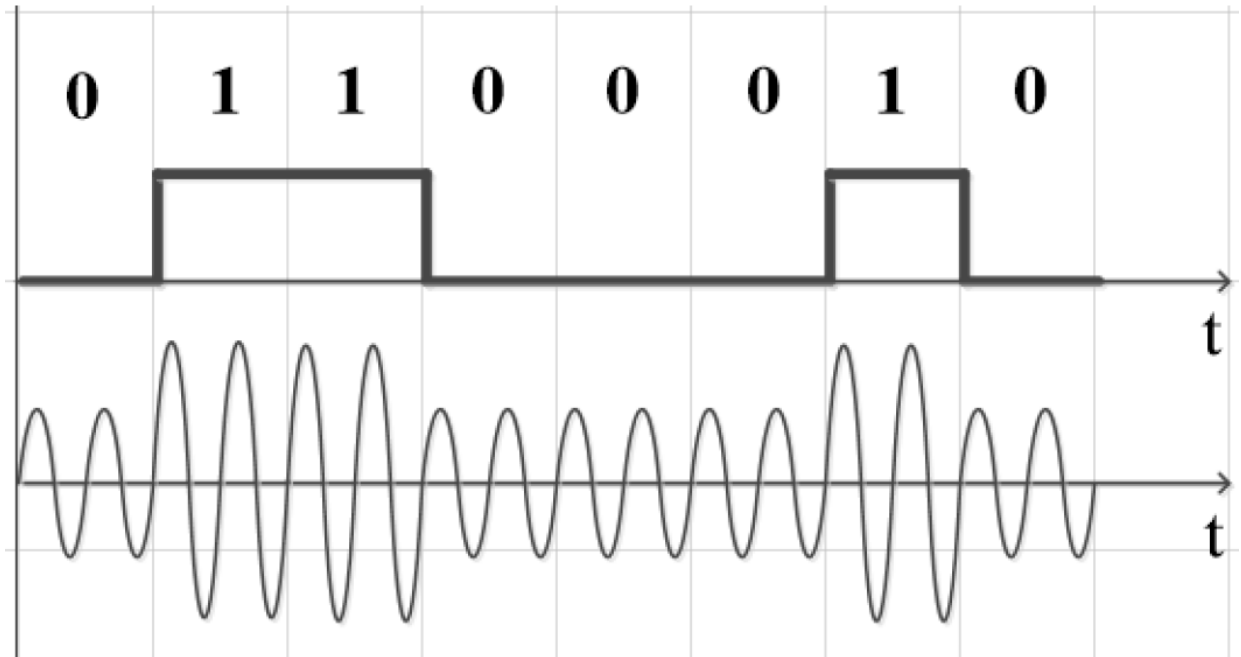


Рисунок 9 – Пример кодирования числа 01100010 методом АМ

Частотная модуляция сигнала из двоичных данных

Пример кодирования числа 01100010 методом ЧМ представлен на рисунке 10.

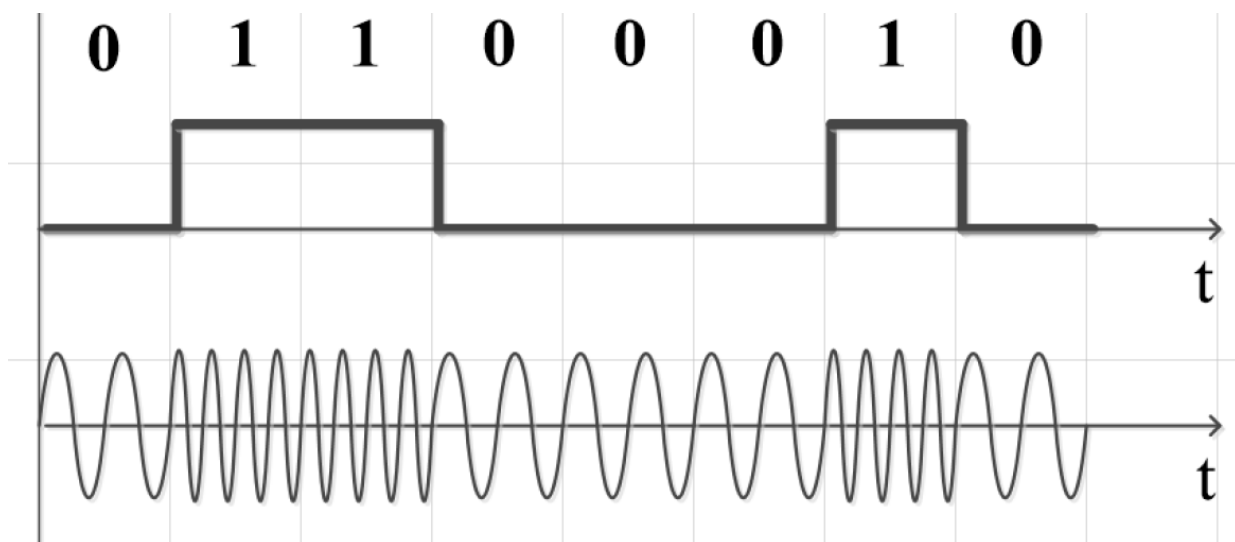


Рисунок 10 – Пример кодирования числа 01100010 методом ЧМ

Фазовая модуляция сигнала из двоичных данных

Пример кодирования числа 01100010 методом фазовой модуляции представлен на рисунке 11.

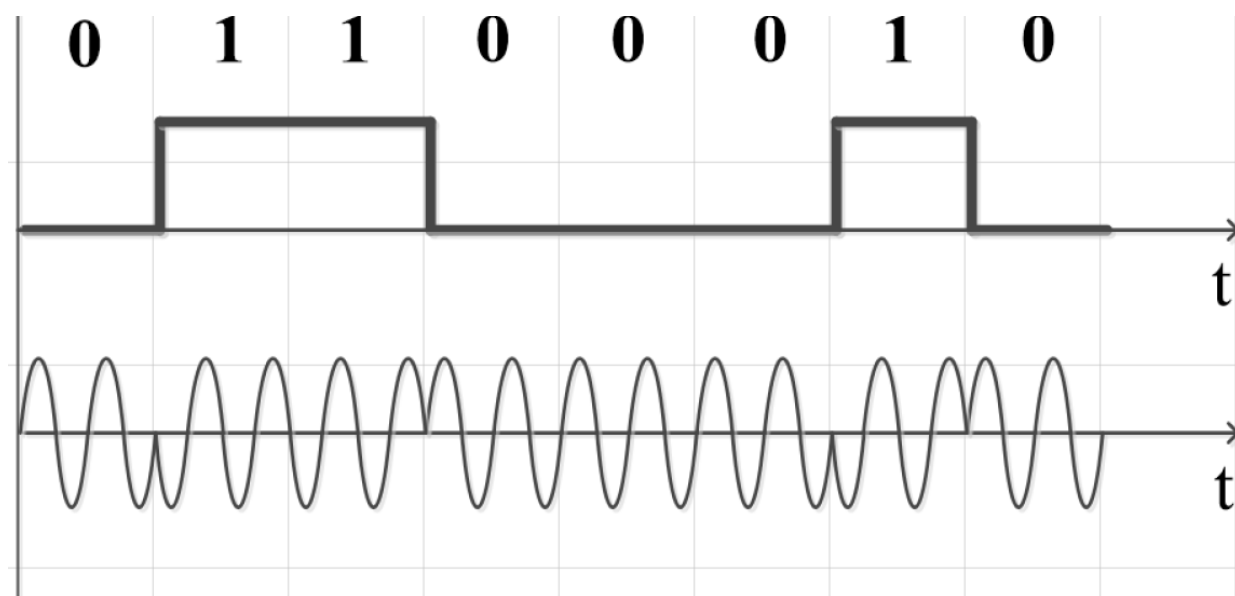


Рисунок 11 – Пример кодирования числа 01100010 методом фазовой модуляции

Кодирование двоичных данных методом NRZ

Пример кодирования числа 01100010 методом NRZ представлен на рисунке 12.

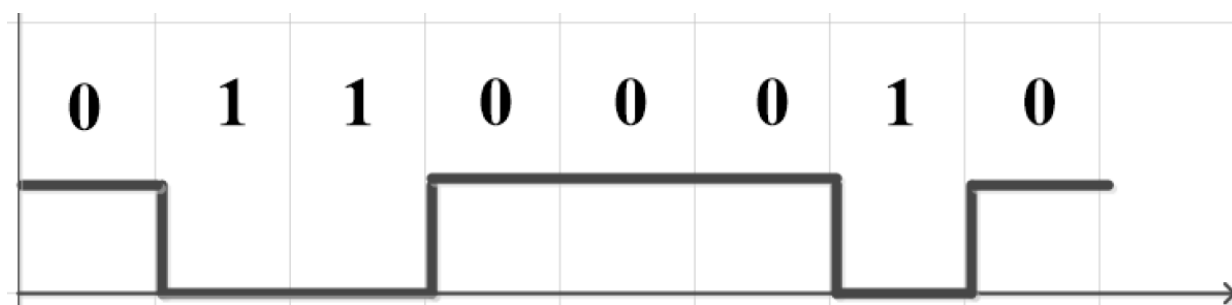


Рисунок 12 – Пример кодирования числа 01100010 методом NRZ

Кодирование двоичных данных методом RZ

Пример кодирования числа 01100010 методом RZ представлен на рисунке 13.

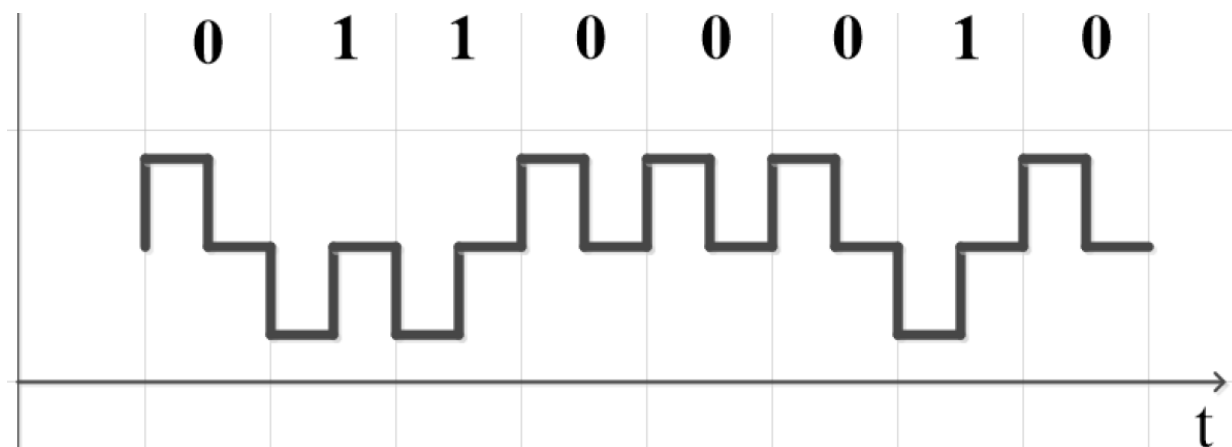


Рисунок 13 – Пример кодирования числа 01100010 методом RZ

Кодирование двоичных данных методом манчестерского кода

Пример кодирования числа 01100010 манчестерским кодом представлен на рисунке 14.

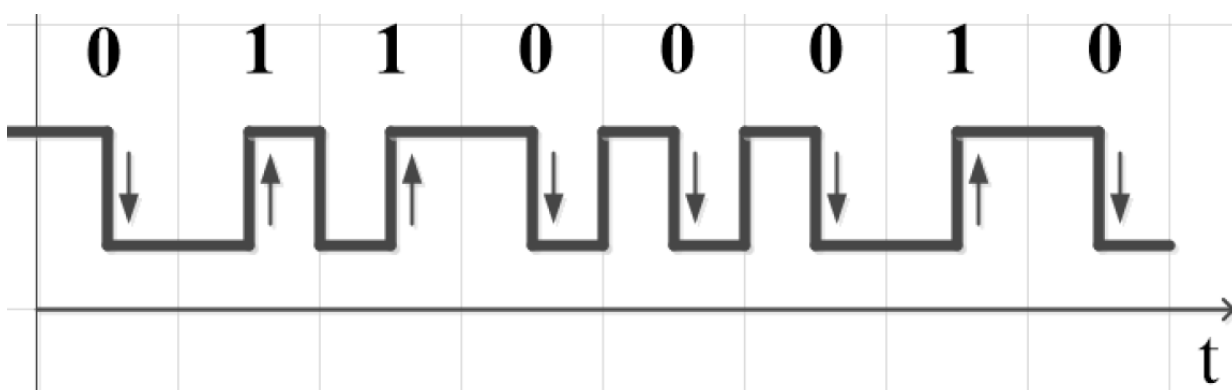


Рисунок 14 – Пример кодирования числа 01100010 манчестерским кодом

Варианты индивидуальных заданий

Для закрепления материала по теме лабораторной работы, каждому обучающемуся необходимо, в соответствии со своим вариантом, провести операции модулирования и

кодирования двоичных данных по следующим методам: AM, FM, PM, NRZ, RZ, манчестерский код. Вариант выбирается исходя из порядкового номера обучающегося в ведомости учёта посещения.

Номер варианта	Число 1	Число 2
1	01010111	00101011
2	11010111	10010111
3	10101011	01101010
4	00111101	00100100
5	00001001	01111110
6	01010011	11001001
7	10000111	11000111
8	01011011	10101110
9	01111101	11111100
10	11110100	00001011
11	00010000	01110010
12	00010100	10000001
13	11001010	11011100
14	00001000	10101000
15	00001010	00100100
16	01011000	01001111
17	11101101	01110111
18	10001110	00011101
19	00101001	10110000
20	10010101	01001010
21	00110111	11100011
22	10110010	11101101
23	00100110	00111101
24	10101111	10001001
25	10010001	01110110
26	11000001	01001011
27	00100111	01000001
28	10100000	11010101
29	10101100	10011001
30	00111100	01010101
31	10001000	01110010

Номер варианта	Число 1	Число 2
32	11010000	00010110
33	11101000	01100011
34	00001101	01010011
35	11000000	00010010
36	11000111	10110011
37	01101100	01110101
38	11111110	11000011
39	00110001	11011001
40	00011010	01111110

Состав отчёта по лабораторной работе

В отчёт по лабораторной работе должно обязательно входить следующее:

1. титульный лист (название министерства и ВУЗа, направление и направленности подготовки, номера курса, номер группы, название дисциплины, номер лабораторной работы, ФИО обучающегося и преподавателя, город и год);
2. цели и задачи лабораторной работы;
3. ход выполнения лабораторной работы;
4. выводы по лабораторной работе (отразить достижение целей и задач лабораторной работы, в выводах необходимо использовать ключевые слова: изучено, проанализировано, пришли к заключению и т.д.).

Использованная литература

- 1 Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Олифер, Н. Олифер. – 5-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2016. – 992 с. – ISBN 978-5-496-01967-5.
- 2 Ситанов, С.В. Компьютерные сети : учебное пособие / С. В. Ситанов, С. С. Алаева; Минобрнауки России, Ивановский государственный химико-технологический университет, Кафедра информационных технологий. – Иваново : ИГХТУ, 2010. – 134 с. – URL: <http://dit.isuct.ru/IVT/sitanov/Literatura/KompSeti.html>.
- 3 Политех : Амплитудная модуляция : сайт. – Москва, 2020 – . – URL: <https://polytech.bm.digital/ontology/326109249526587392/amplitudnaya-modulyatsiya> (дата обращения 08.09.2020).
- 4 Быховский, М. А. Круги памяти (Очерки истории развития радиосвязи и вещания в XX столетии) / М. А. Быховский. — Москва : МЦНТИ – Международный центр научной и технической информации, 2001. — 223 с. — ISBN 5-93533-011-3.
- 5 Виртуальный компьютерный музей : Развитие методов модуляции и кодирования : сайт. – Москва, 2020. – . – URL: <https://www.computer-museum.ru/connect/krugi4.htm> (дата обращения 08.09.2020).
- 6 Самохин, В. П. Памяти Эдвина Армстронга (18.12.1890 – 31.01.1954) / В. П. Самохин, Б. М. Киндяков. // Наука и образование. – 2014. – №1. – С. 1-27.