

Задание 1. Преобразование аналогового сигнала в цифровой сигнал

Осуществить преобразование аналогового сигнала, приведенного на соответствующем рисунке в цифровую кодовую последовательность. Определить шумы квантования. Результаты привести на временной диаграмме и в таблице по шаблону таблицы 1. Вид аналогового сигнала, его максимальную амплитуду и частотный диапазон взять из таблицы 2 в соответствии с вариантом.

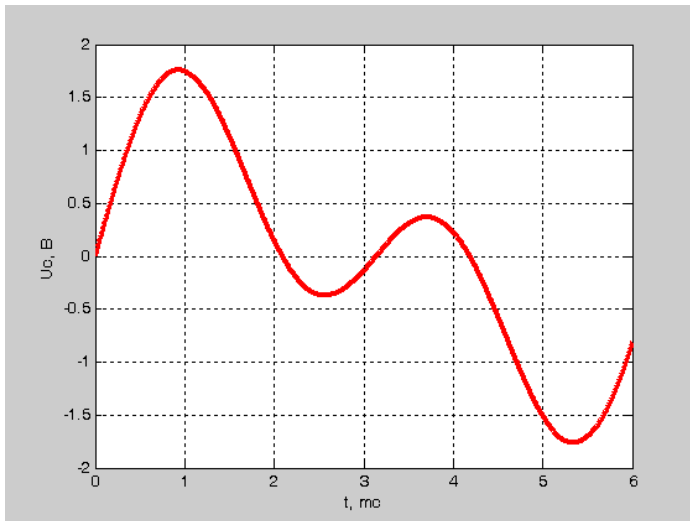


Рисунок 1

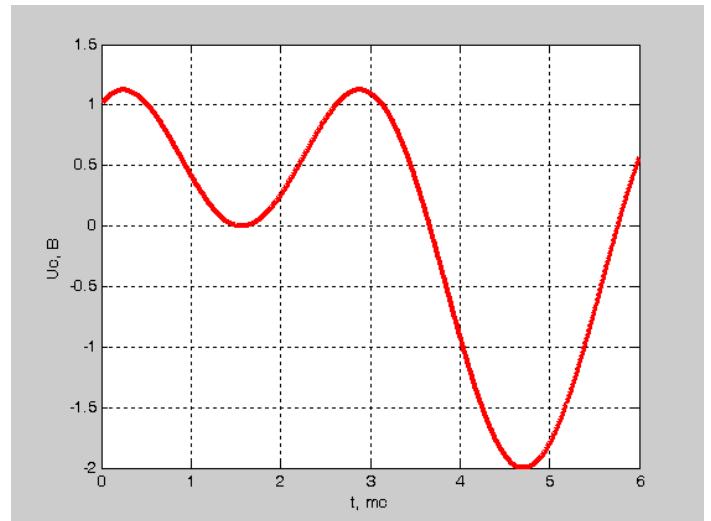


Рисунок 2

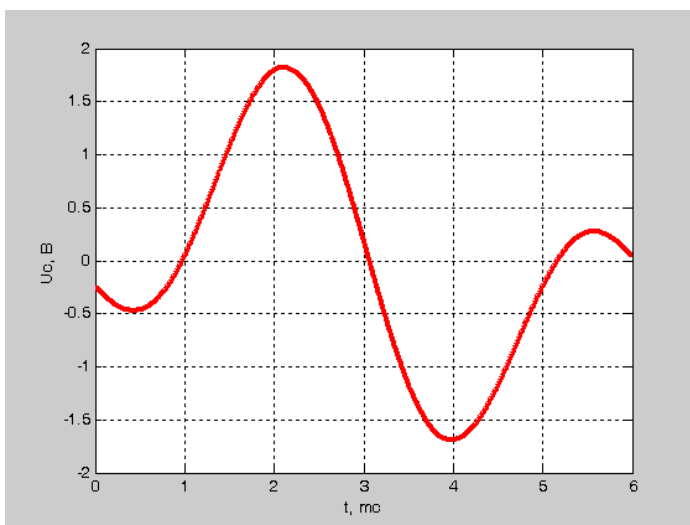


Рисунок 3

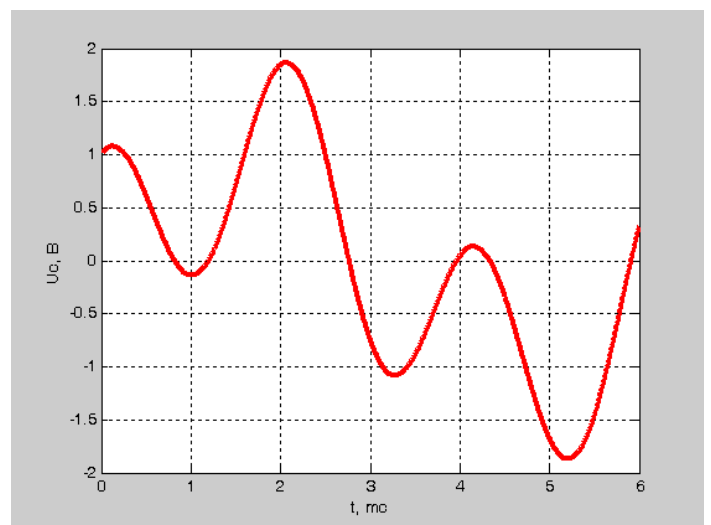


Рисунок 4

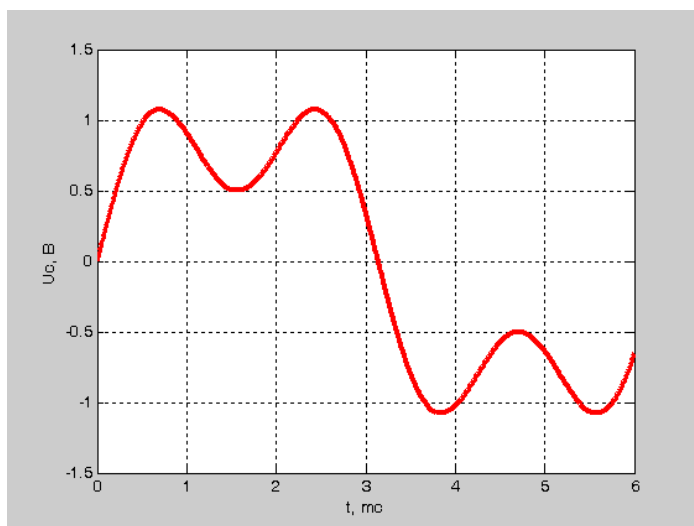


Рисунок 5

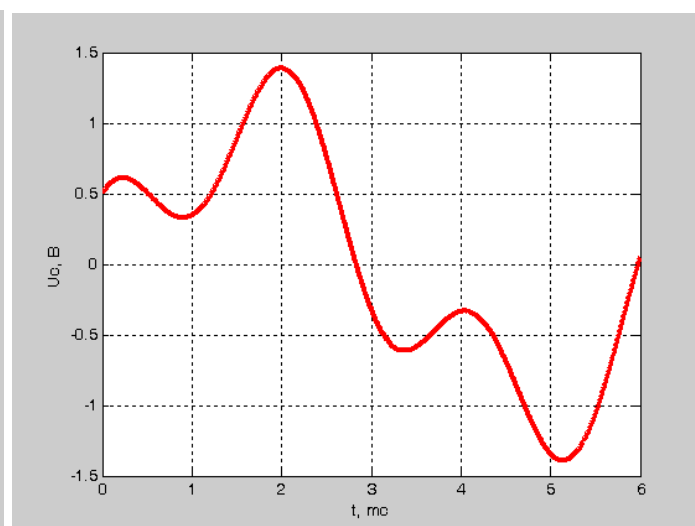


Рисунок 6

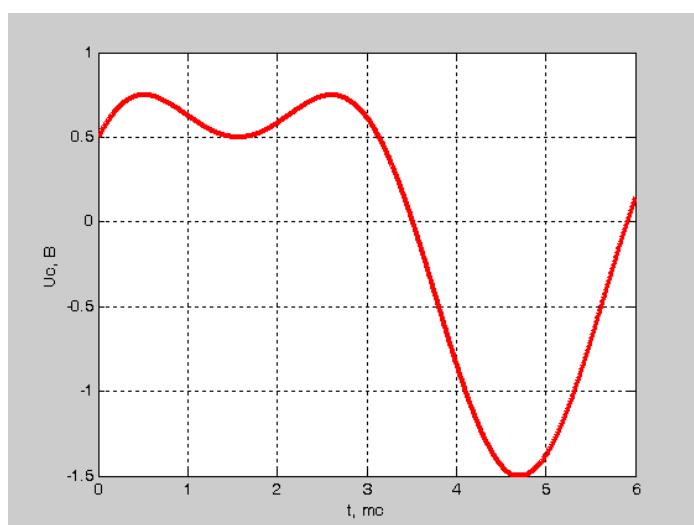


Рисунок 7

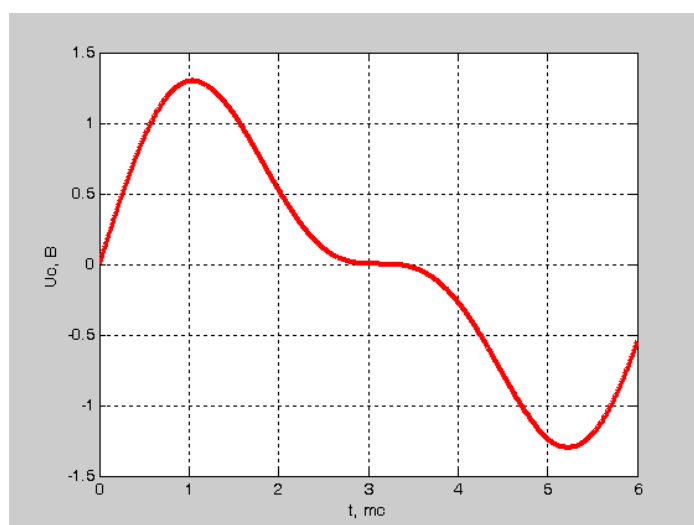


Рисунок 8

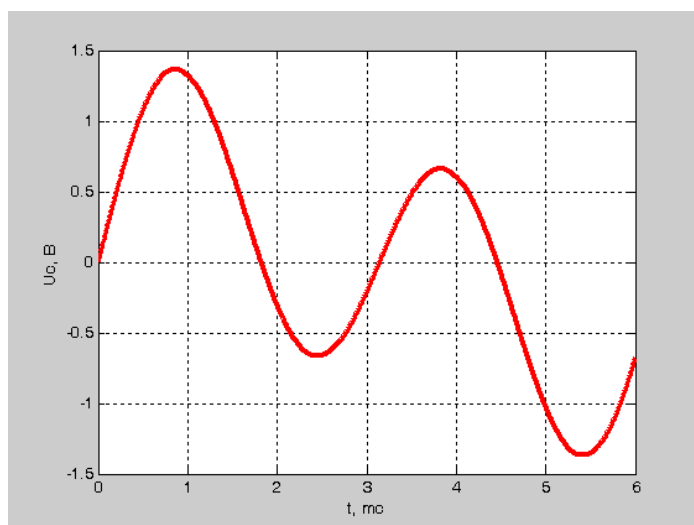


Рисунок 9

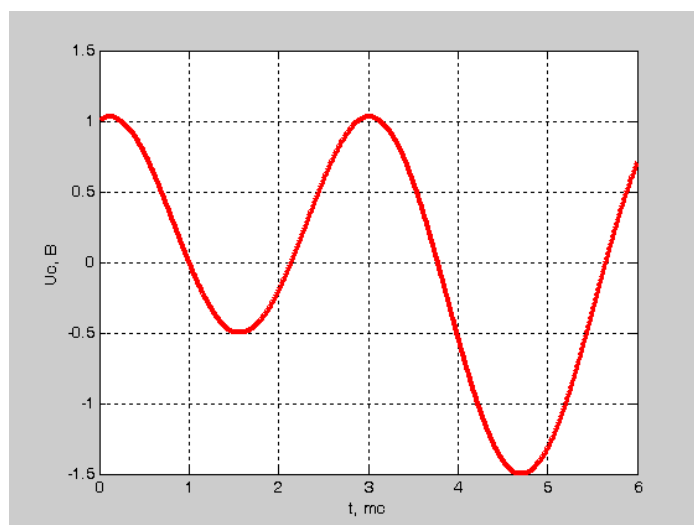


Рисунок 10

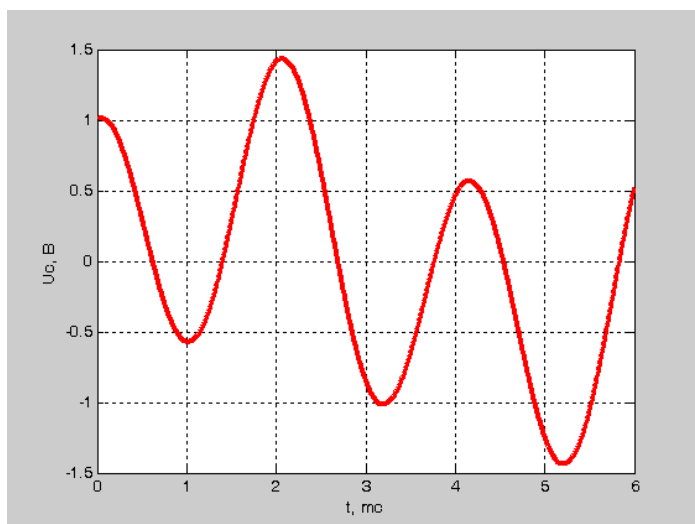


Рисунок 11

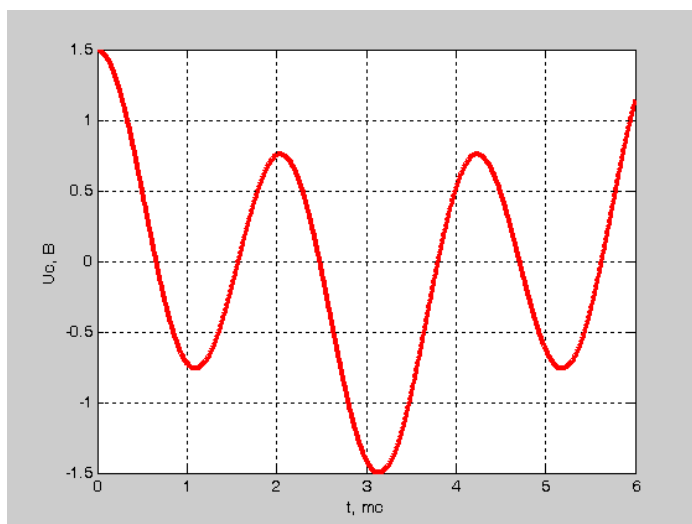


Рисунок 12

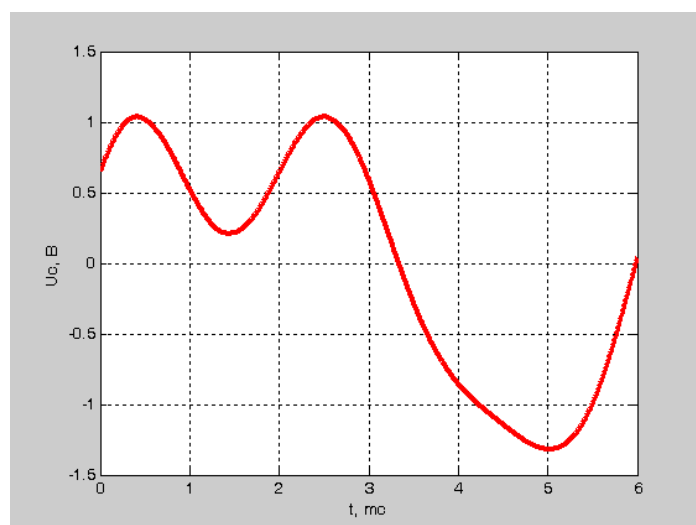


Рисунок 13

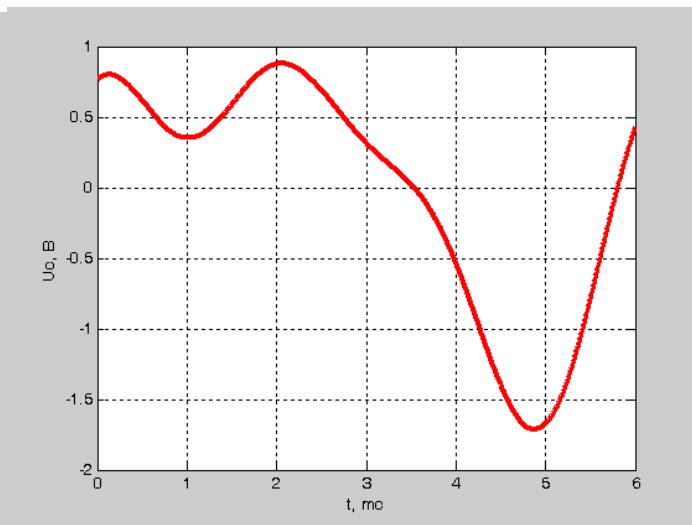


Рисунок 14

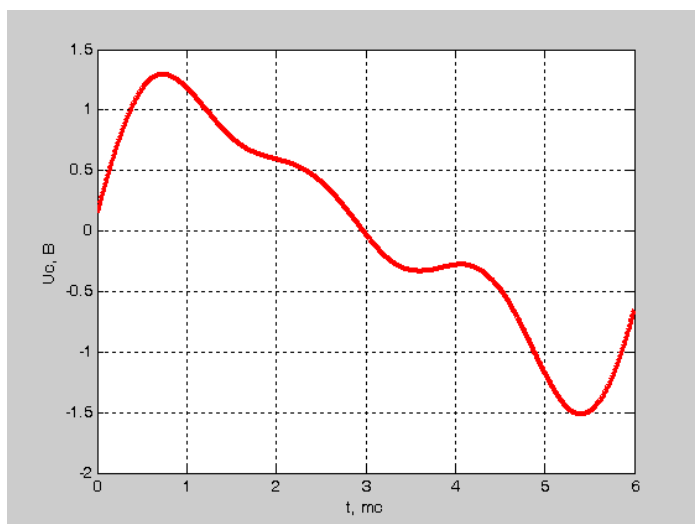


Рисунок 15

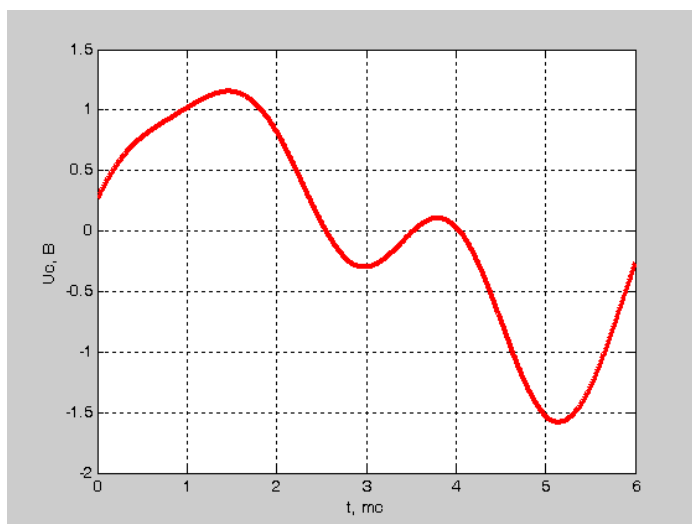


Рисунок 16

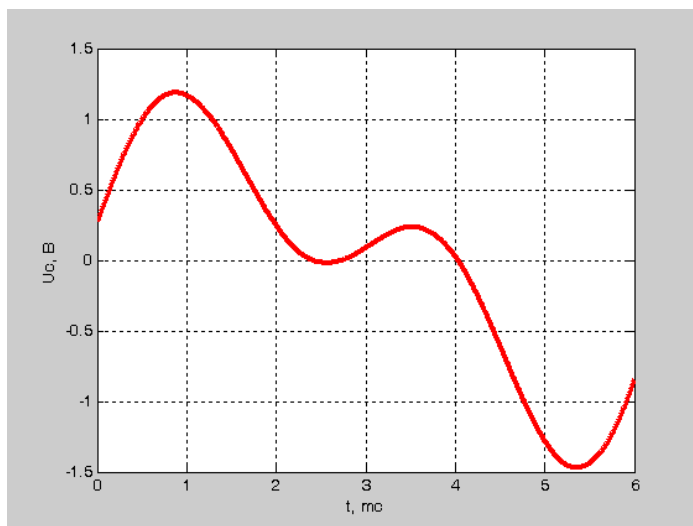


Рисунок 17

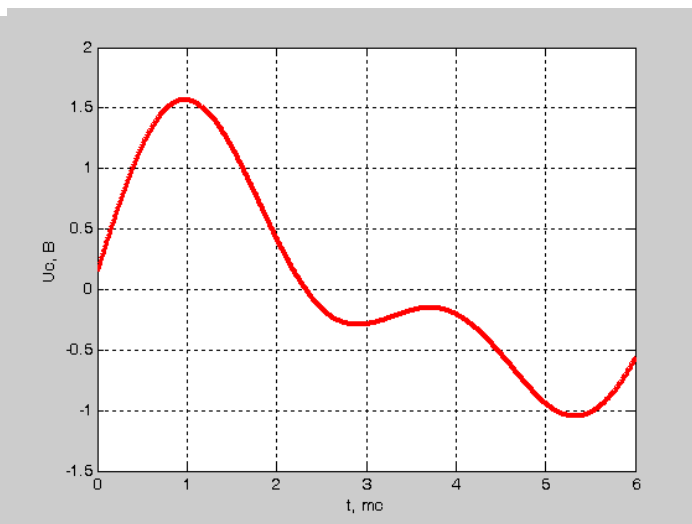


Рисунок 18

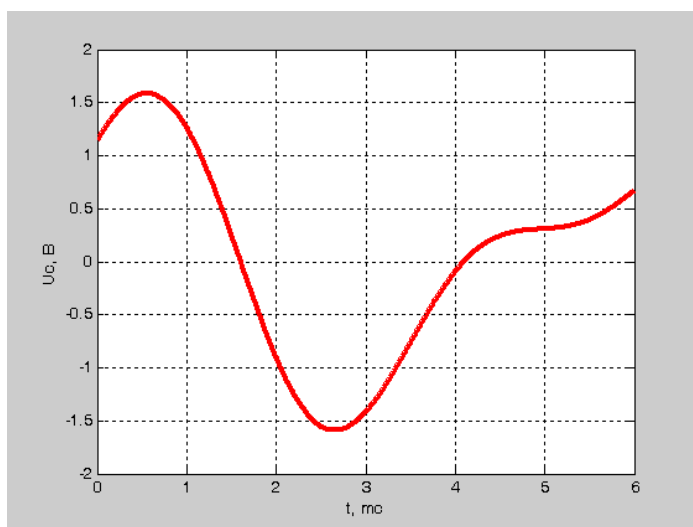


Рисунок 19

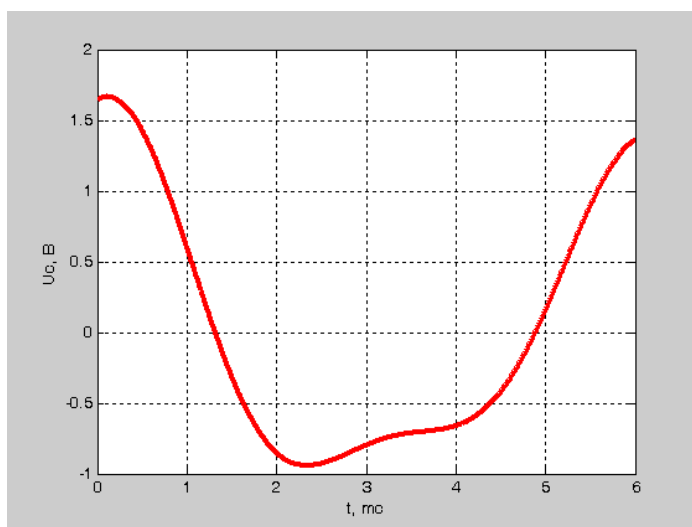


Рисунок 20

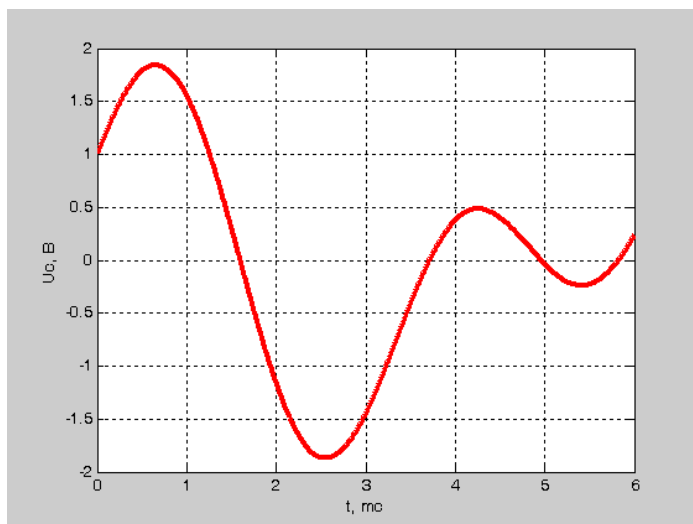


Рисунок 21

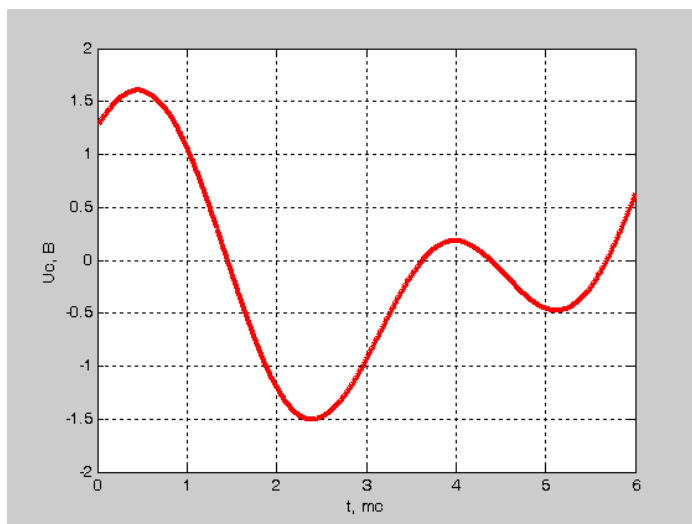


Рисунок 22

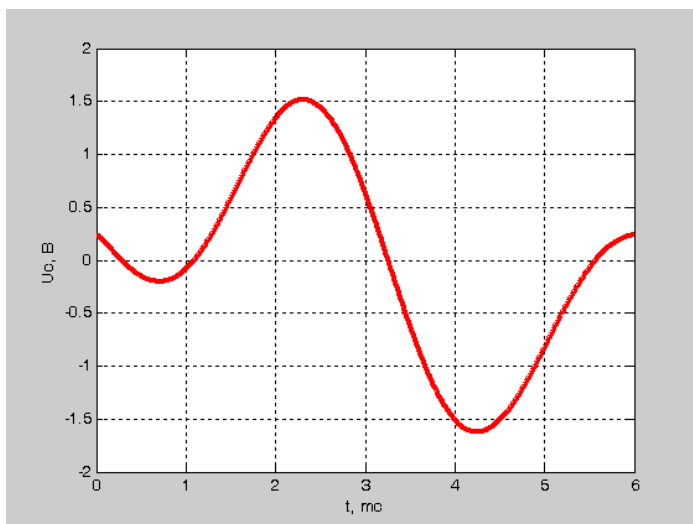


Рисунок 23

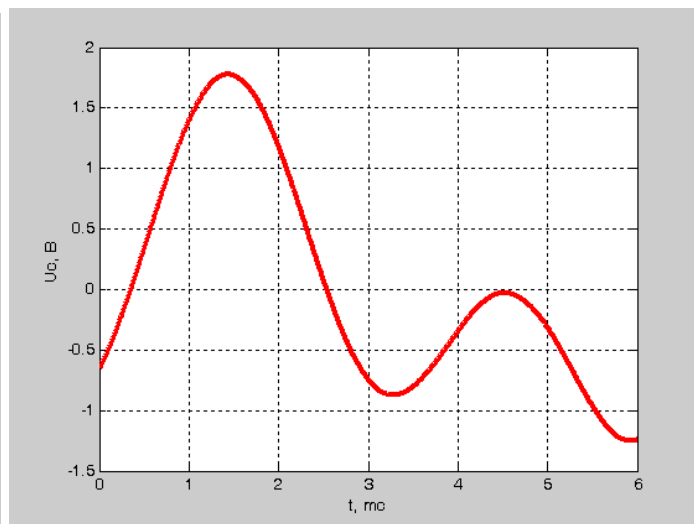


Рисунок 24

Частота дискретизации F_d , число уровней N_{KB} и шаг квантования δ , количество разрядов n в коде, рассчитываются студентом самостоятельно и утверждаются преподавателем, с учетом частоты f_{MAX} и амплитуды сигнала U . Для расчета параметров квантования напряжение ограничения $U_{огр}$ принимается равным максимальному значению амплитуды сигнала U_{MAX} , приведенному на рисунке согласно варианта задания. Значение одного шага квантования связано с числом разрядов двоичного кода формулой $\delta = U_{огр} / 2^n$.

Минимально необходимое количество уровней квантования определяется по формуле $N_{MIN} = (U_{MAX} - U_{MIN}) / \Delta_{удоп} = 2 \cdot U_{огр} / \Delta_{удоп}$, где $\Delta_{удоп}$ — допустимая погрешность квантования. $\Delta_{удоп} = 0,25$ В для всех вариантов. Квантуемая величина представляется двоичным кодом, так что количество уровней N_{KB} должно быть кратно степени двойки (разумеется, превышая при этом значение N_{MIN}), т. е. $N_{KB} = 2^n > N_{MIN}$.

Таблица 1

| Отсчет сигнала | $U_{BX}(t)$, В | $U_{KB}(t)$, В | $\Delta_{KB}(t)$ | N | Двоичный код |
|----------------|-----------------|-----------------|------------------|---|--------------|
| | | | | | |

Таблица 2

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Вид сигнала | Рис. 1 | Рис. 2 | Рис. 3 | Рис. 4 | Рис. 5 | Рис. 6 | Рис. 7 | Рис. 8 | Рис. 9 |
| $f_{MIN} \div f_{MAX}$, кГц | 0,3÷3,0 | 0,3÷3,4 | 0,3÷3,7 | 0,5÷4,0 | 0,5÷4,4 | 0,6÷4,7 | 0,2÷3,1 | 0,4÷3,5 | 0,4÷4,1 |

Продолжение таблицы 2

| Вариант | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Вид сигнала | Рис. 10 | Рис. 11 | Рис. 12 | Рис. 13 | Рис. 14 | Рис. 15 | Рис. 16 | Рис. 17 | Рис. 18 |
| $f_{\text{MIN}} \div f_{\text{MAX}}$, кГц | 0,3÷4,5 | 0,3÷4,8 | 0,3÷3,2 | 0,4÷3,6 | 0,5÷3,9 | 0,6÷4,2 | 0,2÷4,6 | 0,4÷4,9 | 0,4÷4,3 |

Продолжение таблицы 2

| Вариант | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Вид сигнала | Рис. 19 | Рис. 20 | Рис. 21 | Рис. 22 | Рис. 23 | Рис. 24 | Рис. 1 | Рис. 2 | Рис. 3 |
| $f_{\text{MIN}} \div f_{\text{MAX}}$, кГц | 0,3÷5,5 | 0,3÷5,8 | 0,3÷5,2 | 0,4÷5,6 | 0,5÷5,9 | 0,6÷5,2 | 0,2÷5,6 | 0,4÷5,9 | 0,4÷6,3 |

Продолжение таблицы 2

| Вариант | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Вид сигнала | Рис. 4 | Рис. 5 | Рис. 6 | Рис. 7 | Рис. 8 | Рис. 9 | Рис. 10 | Рис. 11 | Рис. 12 |
| $f_{\text{MIN}} \div f_{\text{MAX}}$, кГц | 0,3÷3,0 | 0,3÷3,4 | 0,3÷3,7 | 0,5÷4,0 | 0,5÷4,4 | 0,6÷4,7 | 0,2÷3,1 | 0,4÷3,5 | 0,4÷4,1 |

Полученную кодовую комбинацию представить в виде линейного кода согласно таблицы 3.

Таблица 3

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------|-----|------|-----|-----|-----|----|-------------|-------------------|
| Линейный код | NRZ | NRZI | CMI | AMI | ADI | RZ | Miller code | Манчестерский код |

Продолжение таблицы 3

| Вариант | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------|-----|------|-----|-----|------|----|-------|-------------------|
| Линейный код | ЧПИ | NRZI | CMI | AMI | 2B1Q | RZ | MLT-3 | Манчестерский код |

Продолжение таблицы 3

| Вариант | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|--------------|-----|------|-----|-----|-----|----|-------------|-------------------|
| Линейный код | NRZ | NRZI | CMI | AMI | ADI | RZ | Miller code | Манчестерский код |

Продолжение таблицы 3

| Вариант | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|--------------|-----|------|-----|-----|------|----|-------|-------------------|
| Линейный код | ЧПИ | NRZI | CMI | AMI | 2B1Q | RZ | MLT-3 | Манчестерский код |

Продолжение таблицы 3

| Вариант | 33 | 34 | 35 | 36 |
|--------------|-----|------|-----|-----|
| Линейный код | ЧПИ | NRZI | CMI | AMI |

Методические указания к заданию 1

В системах передачи с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) при представлении аналогового сигнала в цифровой форме осуществляется три вида преобразований:

- дискретизация по времени исходного аналогового сигнала;
- квантование амплитуд, полученных в результате дискретизации импульсов;
- кодирование, т.е. формирование кодовых групп, соответствующих квантованным значениям амплитуд этих импульсов.

Дискретизация - это первый шаг при преобразовании аналоговых сигналов в цифровую форму. На выходе ключей (на входе квантователя) она проявляется в виде амплитудно-модулированных импульсов, поэтому, в сущности, дискретизация по времени представляет собой амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ) аналогового сигнала. В простейшем случае устройство, осуществляющее дискретизацию, представляет собой электронный ключ, при помощи которого проводятся отсчеты сигнала с включенным на его выходе фильтром нижних частот (ФНЧ). Частота замыкания этого ключа (частота дискретизации), как следует из теоремы Котельникова (любой непрерывный сигнал, ограниченный по спектру верхней частотой F_v , полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчетов, взятых через промежуток времени $T_d \leq 1/2F_v$) должна удовлетворять условию $F_d \geq 2F_v$, т.е. должна быть, по крайней мере, в 2 раза больше частоты среза ФНЧ.

Некоторое увеличение частоты дискретизации позволяет облегчить требования к фильтрам обеспечением необходимой полосы расфилтровки. Поэтому при передаче телефонных сигналов в диапазоне частот 0,3-3,4 кГц частота дискретизации принята равной 8 кГц.

Квантование необходимо для последующего кодирования и заключается в замене непрерывного диапазона значений амплитуд передаваемого сигнала конечным множеством разрешенных для передачи значений - уровней квантования u_i . При этом непрерывный динамический диапазон передаваемых сигналов разбивается на ряд отдельных участков - шагов квантования δ_i . Если значение напряжения входного сигнала $u_{вх}$ удовлетворяет условию

$$u_i - \frac{\delta_i}{2} \leq u_{вх} < u_i + \frac{\delta_i}{2}$$

то сигналу присваивается значение напряжения, соответствующее i -му уровню квантования u_i .

Таким образом, квантование является преобразованием, при котором происходит округление амплитудных значений сигнала. Возникающая при этом ошибка является разностью между квантованной величиной и истинным значением сигнала и не превышает половины шага квантования:

$$\Delta_{кв} = |u_{вх} - u_i| \leq \delta_i/2$$

Очевидно, чем больше разрешенных уровней $N_{кв}$, т.е. меньше шаг квантования, тем меньше ошибка. Ошибки приводят к искажению сигнала, эти искажения называют шумами квантования.

Кодирование. Произведя "нумерацию" уровней квантования, можно передавать не сами уровни, а их значения по шкале уровней в двоичном коде. Такие преобразования сигнала иллюстрируются таблицей 4, в которой указаны амплитуды отсчетов сигнала $U_{вх}(t)$, их квантованные значения $U_{кв}(t)$, ошибки квантования $\Delta_{кв}(t)$, нумерация уровней квантования N и осуществлено преобразование десятичных значений номеров уровня квантования в двоичное число (см. рисунок 25).

Таблица 4 — Преобразование сигнала в двоичный код

| Отсчет сигнала | $U_{\text{вх}}(t)$ | $U_{\text{кв}}(t)$ | $\Delta_{\text{кв}}(t)$ | N | Двоичный код |
|----------------|--------------------|--------------------|-------------------------|---|--------------|
| 1 | 3,6 | 4 | -0,4 | 4 | 100 |
| 2 | 2,7 | 3 | -0,3 | 3 | 011 |
| 3 | 1,2 | 1 | 0,2 | 1 | 001 |
| 4 | 0,6 | 1 | -0,4 | 1 | 001 |
| 5 | 0,3 | 0 | 0,3 | 0 | 000 |

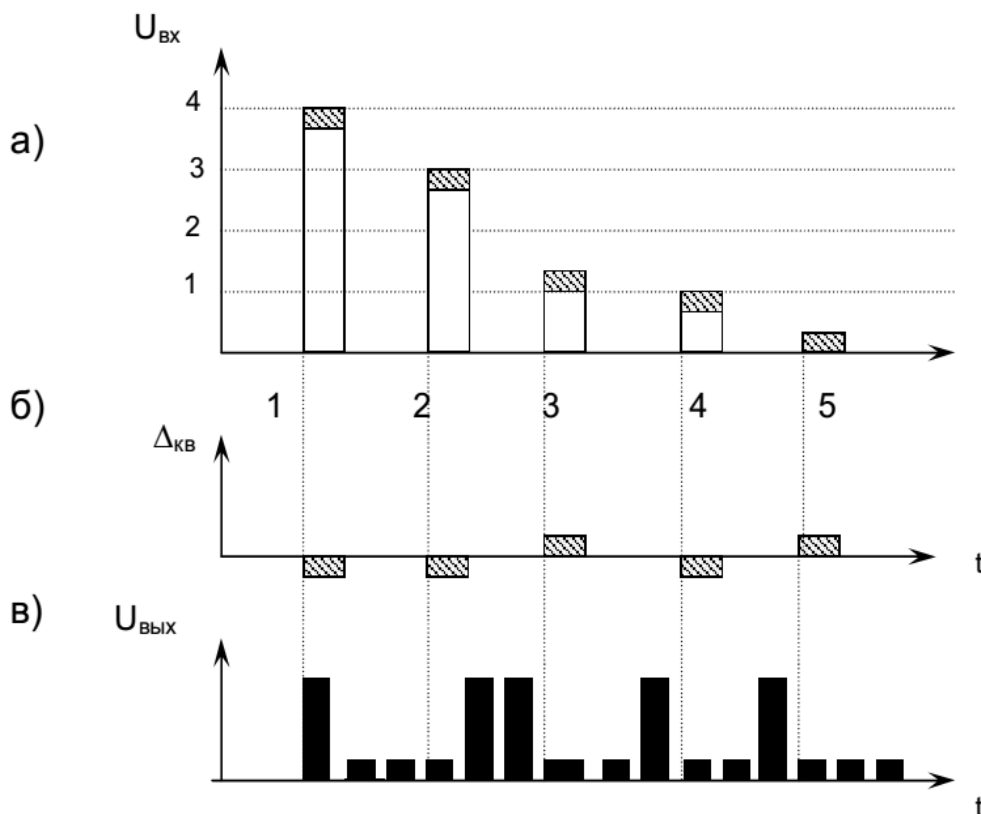


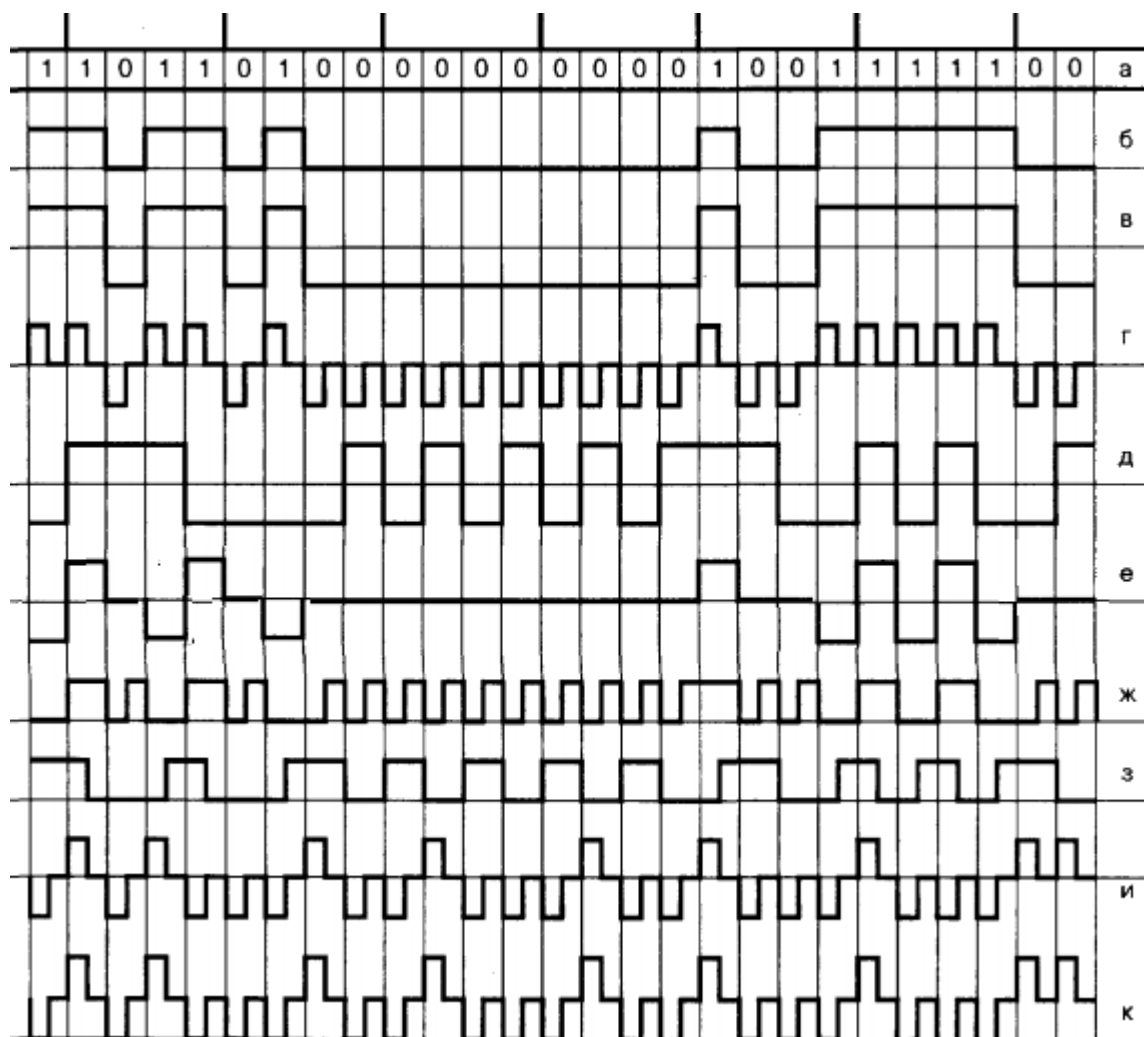
Рисунок 25 — Принцип ИКМ: а — амплитуды отсчетов АИМ-сигналов и их квантованные значения; б — ошибки квантования; в — преобразование номеров уровней

Полученная в результате этого преобразования импульсная последовательность является групповым ИКМ сигналом.

Совокупность единиц и нулей между двумя квантованными отсчетами группового сигнала называется кодовой группой, а число единиц и нулей в кодовой группе определяет ее разрядность.

Число кодовых групп соответствует числу уровней квантования N и связано с числом элементов в кодовой комбинации n соотношением $N=2^n$.

Диаграммы формирования линейных кодов заданной последовательности приведены на рисунке 26.



Рисунке 26 — Алгоритмы формирования линейных кодов: а — исходная двоичная последовательность; б — однополярный код без возвращения к нулю — **NRZ**; в — двухполярный **NRZ** или симметричный телеграфный код; г — двухполярный код с возвращением к нулю - **RZ**; д — код с поразрядно-чередующейся инверсией — **ADI**; е — код с чередующейся инверсией на "1" — **AMI**; ж — код с инверсией кодовых комбинаций — **CMI**; з — двухполярный двухуровневый код Миллера; и — биполярный код высокой плотности порядка 3 — **HDB3**; к — однополярный эквивалент кода **HDB3** в оптической линии связи.

NRZ - Non Return to Zero code - основополагающий двухуровневый код без возвращения к нулю.

В отличие от безызбыточных кодов типа NRZ при формировании кода RZ (**RZ - Return to Zero code** - основополагающий трехуровневый код с возвращением к нулю, рисунок 26, г) для защиты от межсимвольных помех между элементами сигнала формируют защитные промежутки. Длительность импульса выбирают равной $T/2$. Этот код можно рассматривать как избыточный двоичный код с тактовой частотой, равной $f_T=2/T$.

ADI - Alternate Digit Inversion code - двоичный код с инверсией полярности сигнала на каждом втором двоичном разряде (не важно, какой он: "1" или "0"); в результате формируется двухполярный двухуровневый код (рисунок 26, д).

AMI -Alternate Mark Inversion code - двоичный код RZ с инверсией на каждой "1", может быть получен из кода ADI путем инверсии каждой четной "1"; в результате формируется двухполярный трехуровневый код (рисунок 26, е).

Код **CMI - Coded Mark Inversion** (рисунок 26, ж) в котором символы «1» исходной комбинации передаются чередующимися блоками 11 и 00, а символы «0» - одним из блоков 01 и 10.

Miller code - двухполярный двухуровневый код Миллера класса 1В2В, имеющий множество состояний {00, 01, 10, 11}, переходы между которыми описываются графом приведенном на рисунке 27.

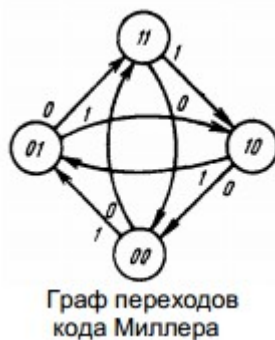


Рисунок 27