

# 1 Дискретизация

Дискретизация – это процесс преобразования непрерывного аналогового сигнала в последовательность дискретных значений, снимаемых через равные промежутки времени, чтобы его можно было обрабатывать и хранить в цифровом виде, а ключевой параметр – частота дискретизации, определяющее количество отсчетов в секунду.

**Как выполняется дискретизация** Сигнал обладает определенными характеристиками:

- Частота сигнала
- Амплитуда
- Длительность сигнала

Для выполнения дискретизации необходимо знать частоту дискретизации.

**Теорема Котельникова (Найквиста-Шеннона)** Теорема утверждает, что аналоговый сигнал с финитным спектром (т. е. со спектром, ограниченным некоторой частотой  $f_m$ ) полностью определяется последовательностью своих дискретных значений (отсчетов), взятых через интервалы времени  $\Delta t \leq 1/(2f_m)$ , то есть с частотой дискретизации  $f_d \geq 2f_m$ . Другими словами, при выполнении этого условия аналоговый сигнал можно точно восстановить по его дискретным значениям.

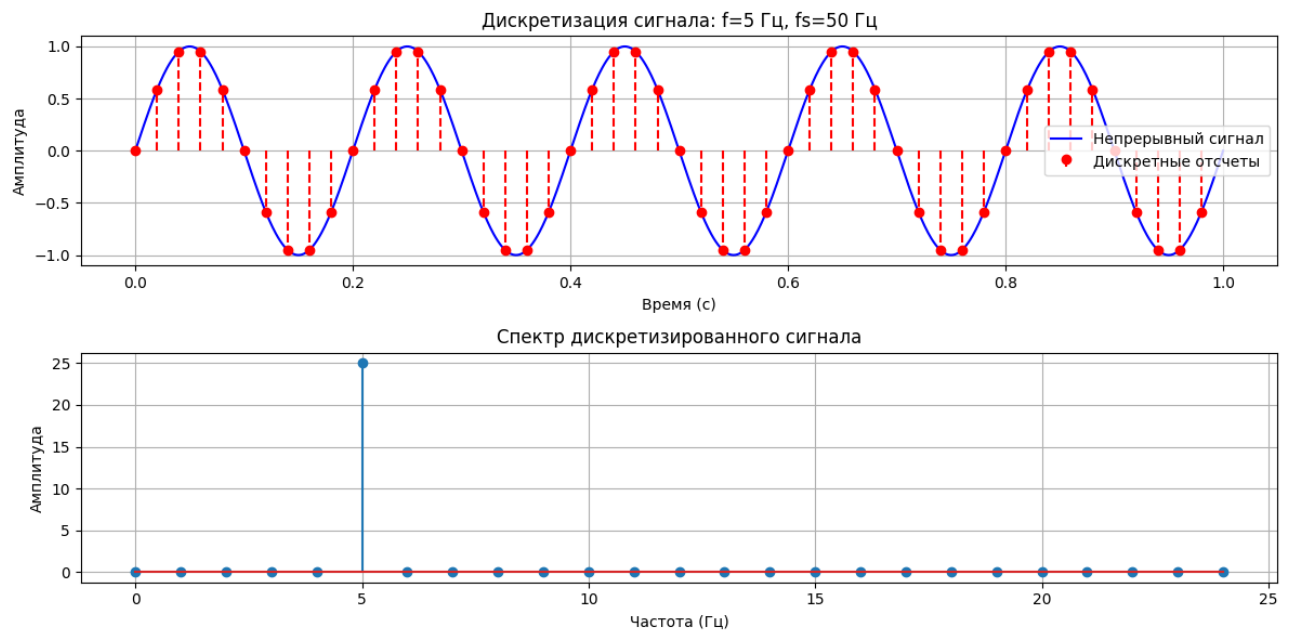


Рисунок 1 — Дискретизация аналогового сигнала и быстрое преобразование Фурье дискретного сигнала. Частота сигнала 5Гц, частота дискретизации 50Гц

## 1.1 Алиасинг

В обработке сигналов аласингом называют эффект, приводящий к наложению парциальных спектров аналогового сигнала после его дискретизации при невыполнении условий теоремы Котельникова.

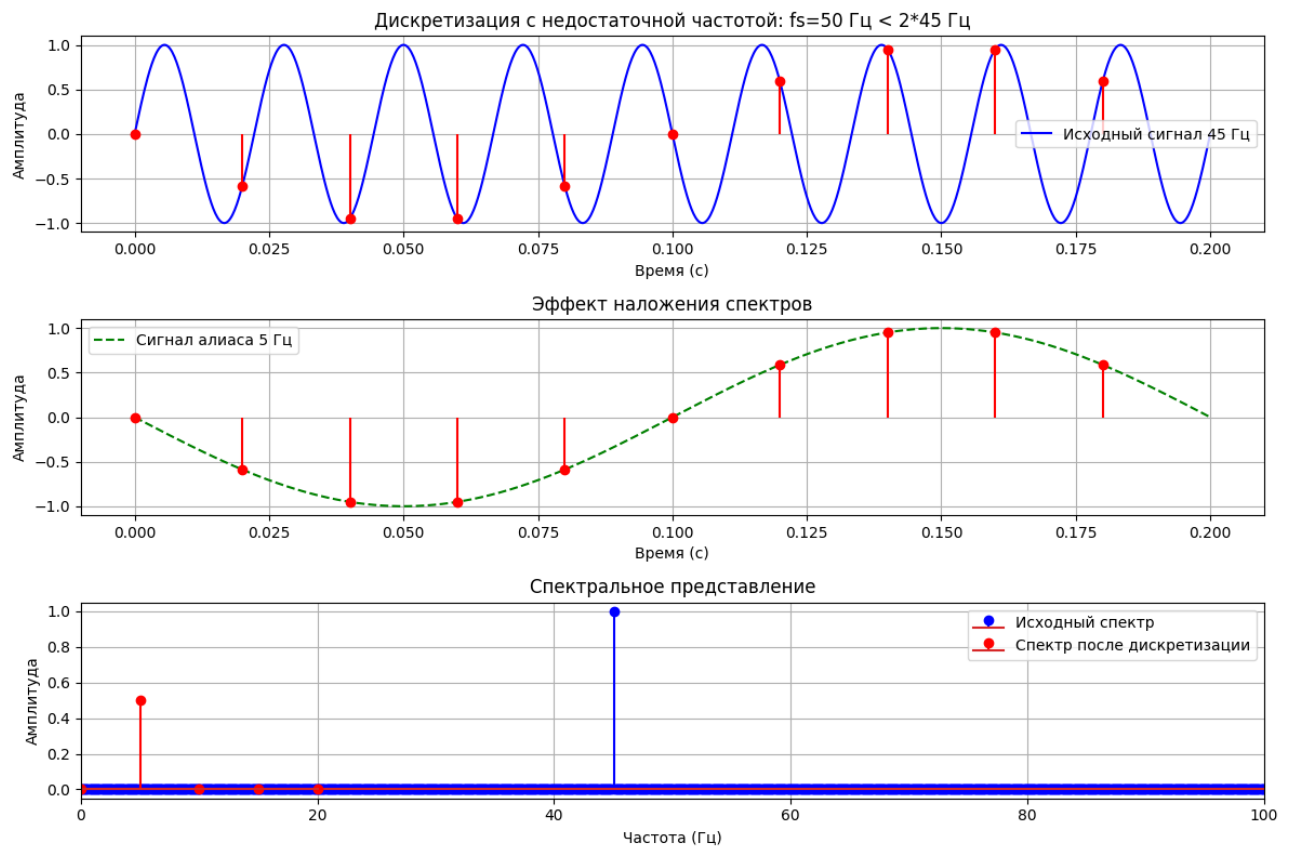


Рисунок 2 — Явление алиасинга (наложения спектров) при невыполнении теоремы Котельникова.

Пример дискретизации модели аудиосигнала (сложение трех нот и наложение шума).

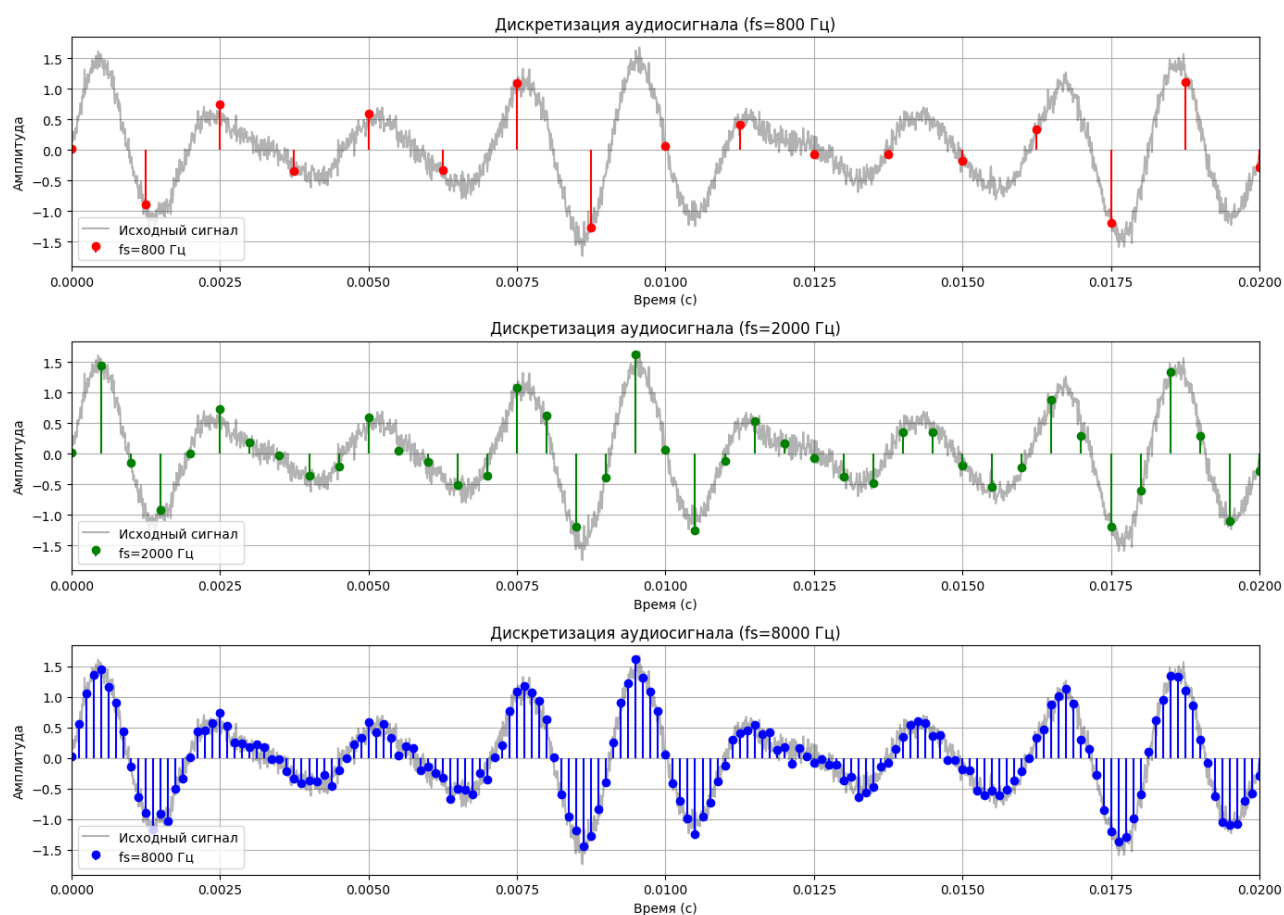


Рисунок 3 — Пример дискретизации аудиосигнала с разной частотой дискретизации

## 2 Квантование

В обработке сигналов – разбиение диапазона отсчетных значений сигнала на конечное число уровней и округление этих значений до одного из двух ближайших к ним уровней. При этом значение сигнала может округляться либо до ближайшего уровня, либо до меньшего или большего из уровней в зависимости от способа кодирования.

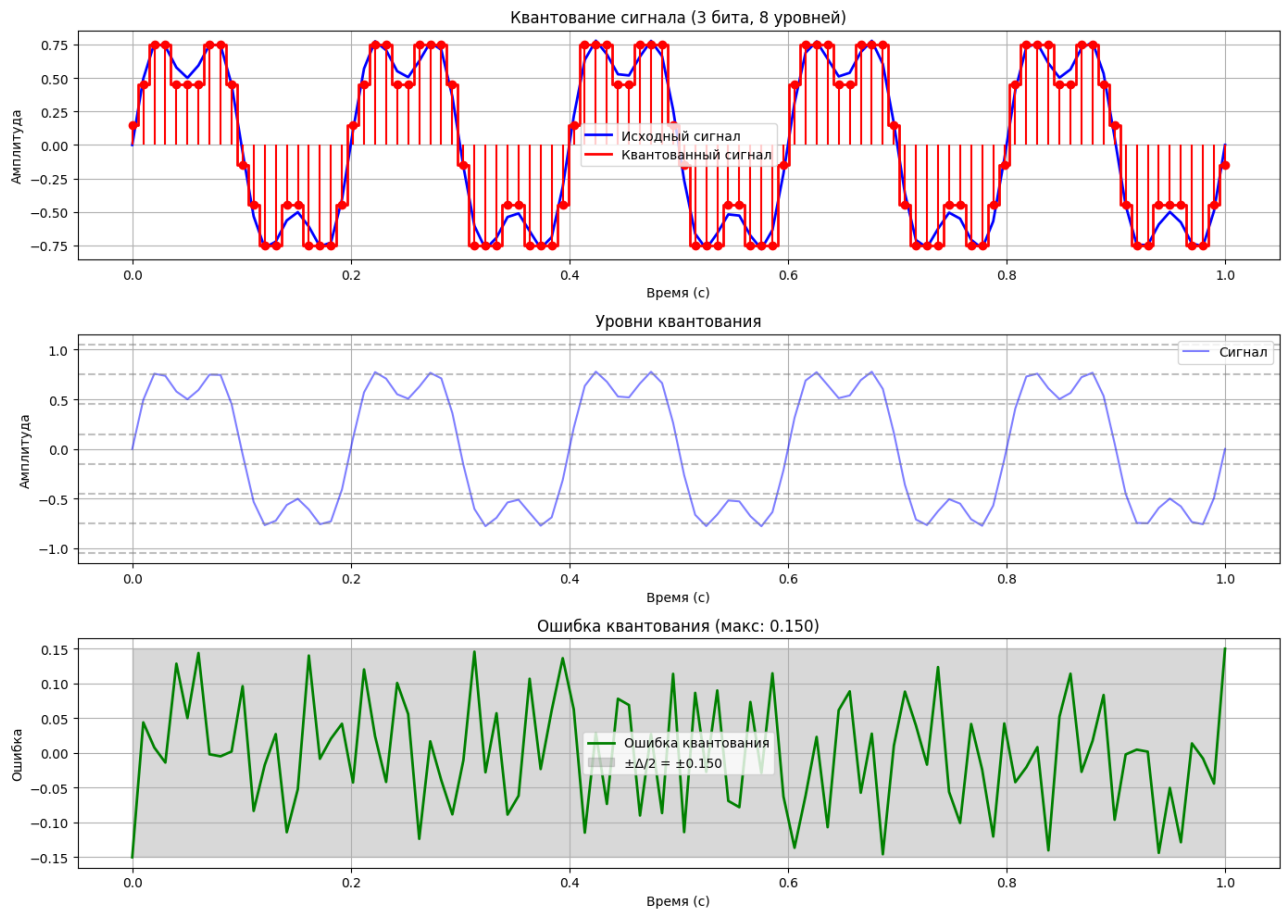


Рисунок 4 — Квантование сигнала с разрешением в 3 бита.

Для оценки ошибки квантования используют параметр, являющийся отношением сигнала к шуму (Signal-to-quantization-noise ratio,  $SQNR$ ). Измеряется в децибелах. Чем больше это отношение тем меньше будет ошибка квантования.

Существуют различные типы квантования.

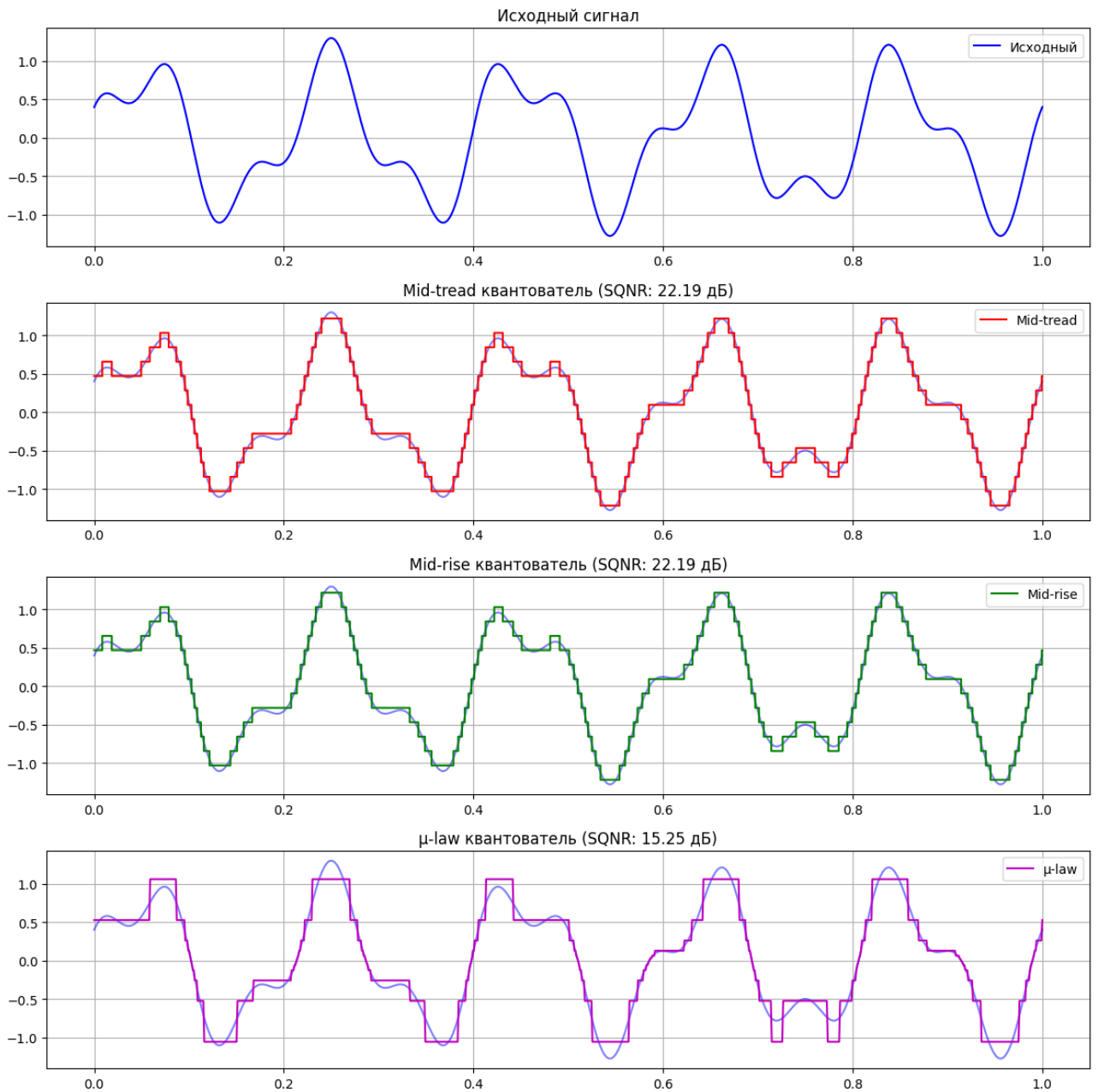


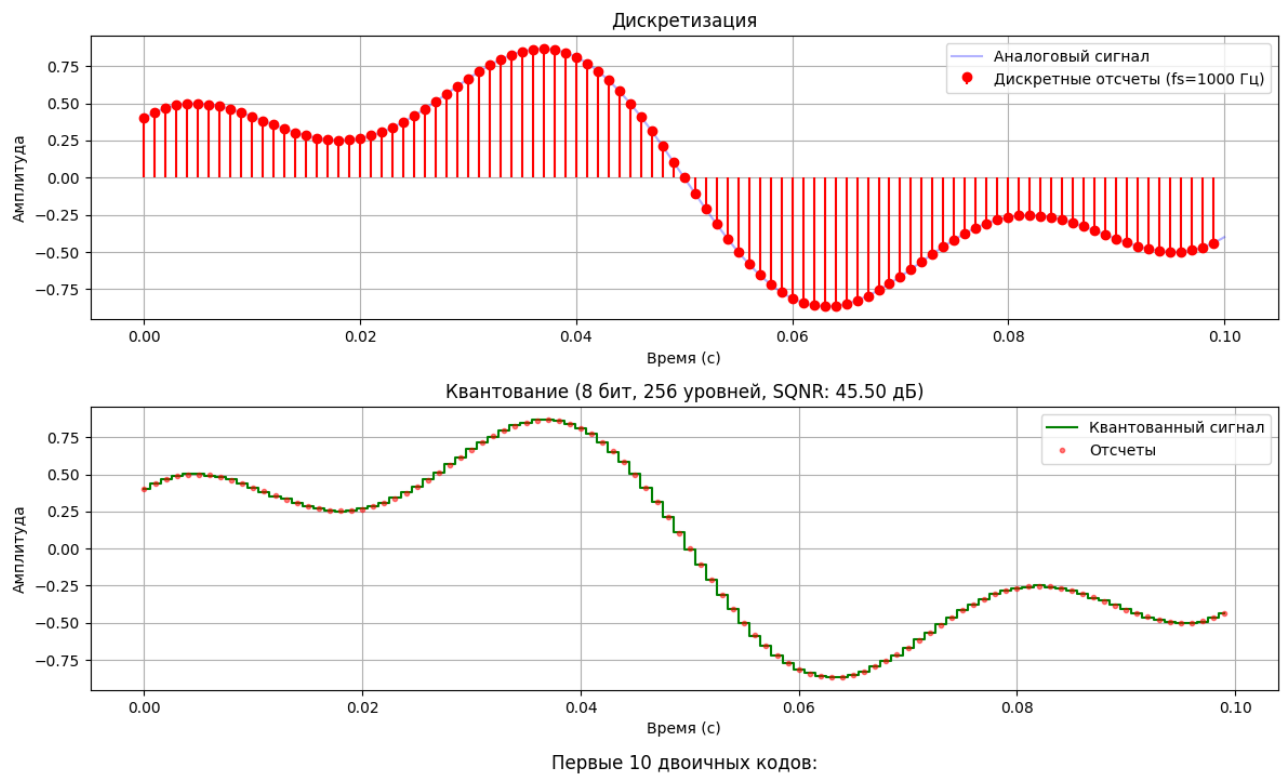
Рисунок 5 — Различные типы квантования и SQNR

### 3 Аналогово-цифровой преобразователь, АЦП

АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровой, то есть сигнал проходит два преобразования: дискретизацию и квантование. Двумя ключевыми характеристиками АЦП являются разрядность (от нее зависит количество уровней квантования амплитуды) и частота дискретизации.

Количество уровней квантования:

$$n = 2^N, N - \text{разрядность АЦП}$$



```

t=0.0000с: 10101010
t=0.0010с: 10101110
t=0.0020с: 10110001
t=0.0030с: 10110100
t=0.0040с: 10110101
t=0.0050с: 10110101
t=0.0060с: 10110100
t=0.0070с: 10110011
t=0.0080с: 10110001
t=0.0090с: 10101110

```

Рисунок 6 — Процесс дискретизации и квантования в АЦП с разрядностью 8 бит и частотой дискретизации 1кГц

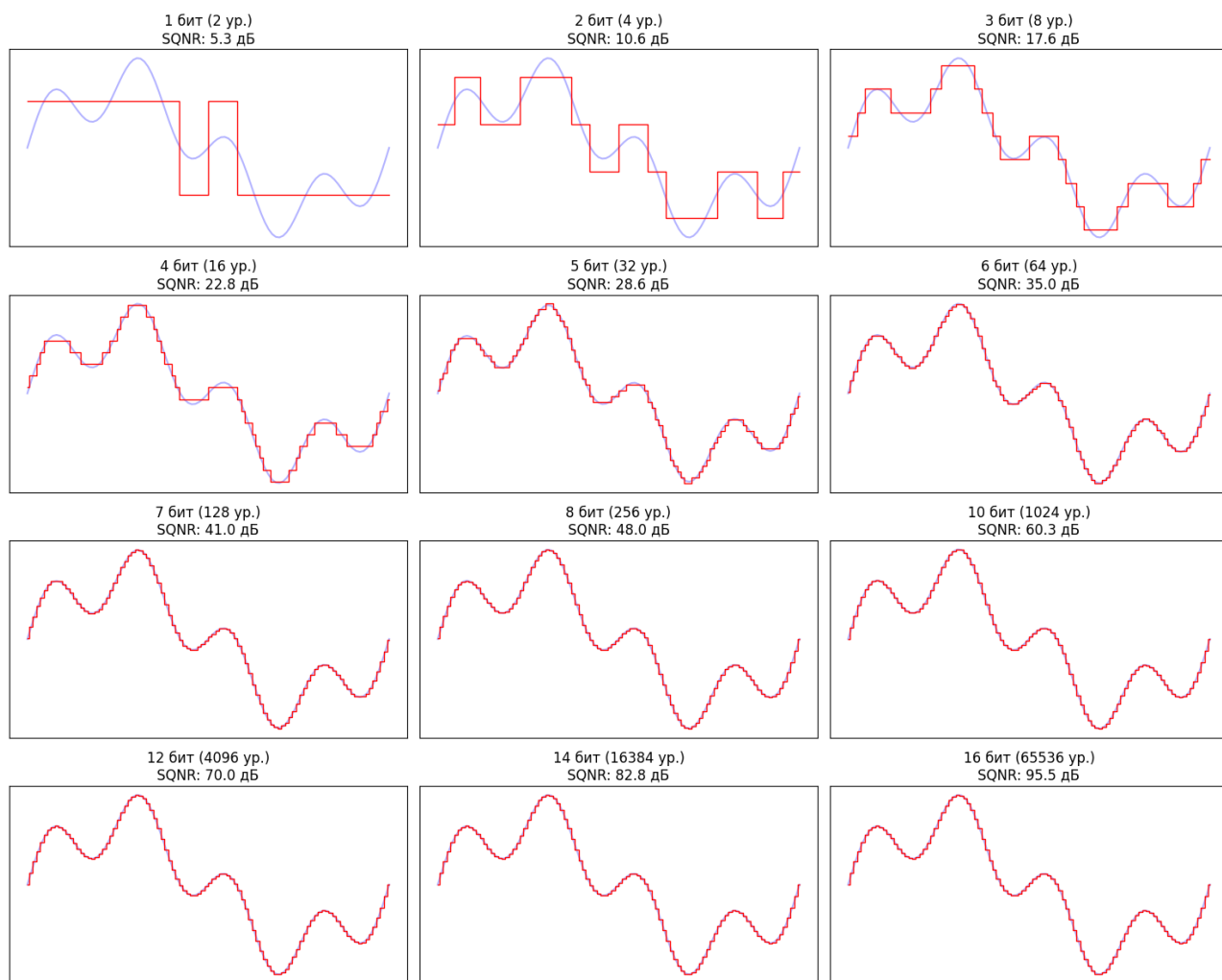


Рисунок 7 — Квантованный сигнал в зависимости от разрядности АЦП



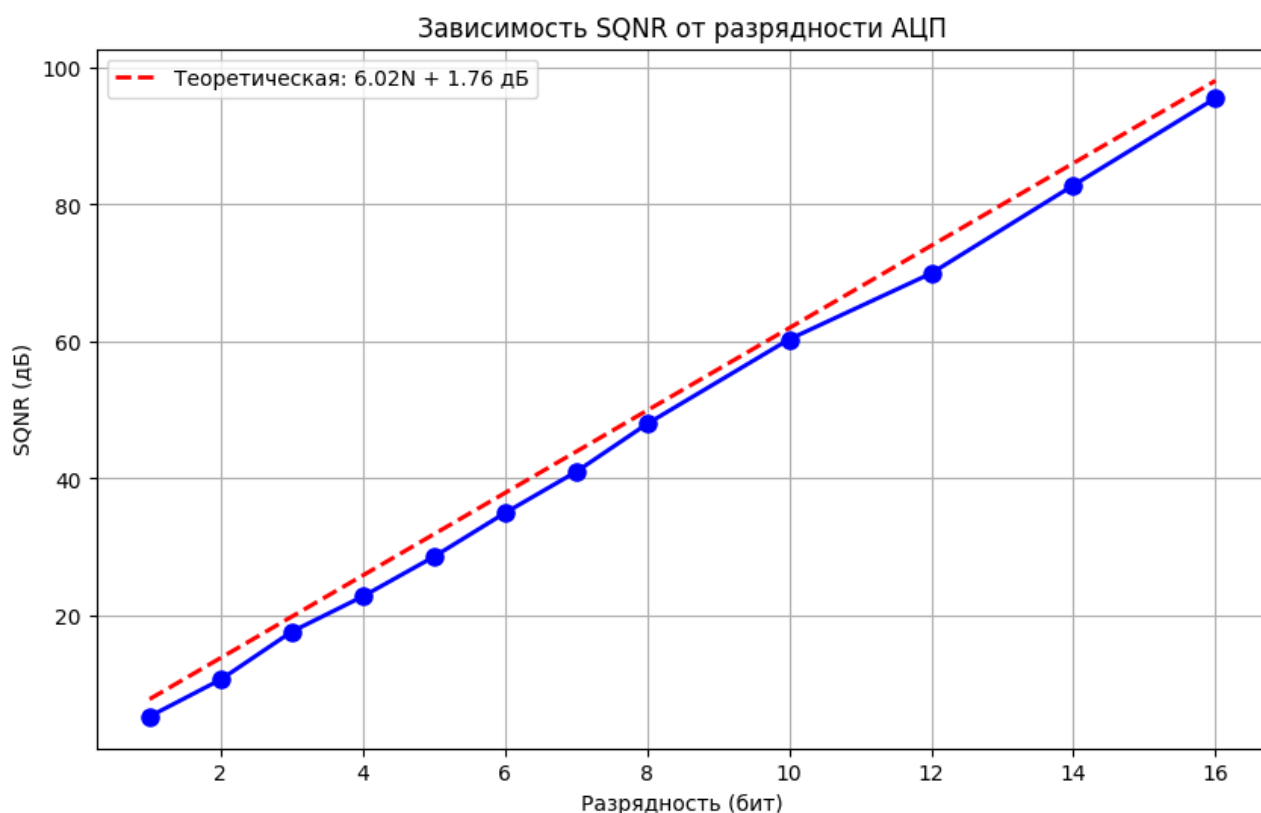


Рисунок 8 — Зависимость SQNR от разрядности АЦП

## 4 Цифро-аналоговый преобразователь, ЦАП

ЦАП – устройство для преобразования цифрового кода в аналоговый сигнал. Цифро-аналоговые преобразователи являются интерфейсом между дискретным цифровым миром и аналоговыми сигналами.

ЦАП характеризуется двумя ключевыми характеристиками: разрядностью и напряжением питания. Выходной сигнал без обработки является ступенчатым, что не будет допустимым результатом в большинстве устройств. Для сглаживания ступеней используется интерполяция и фильтр низких частот (ФНЧ).

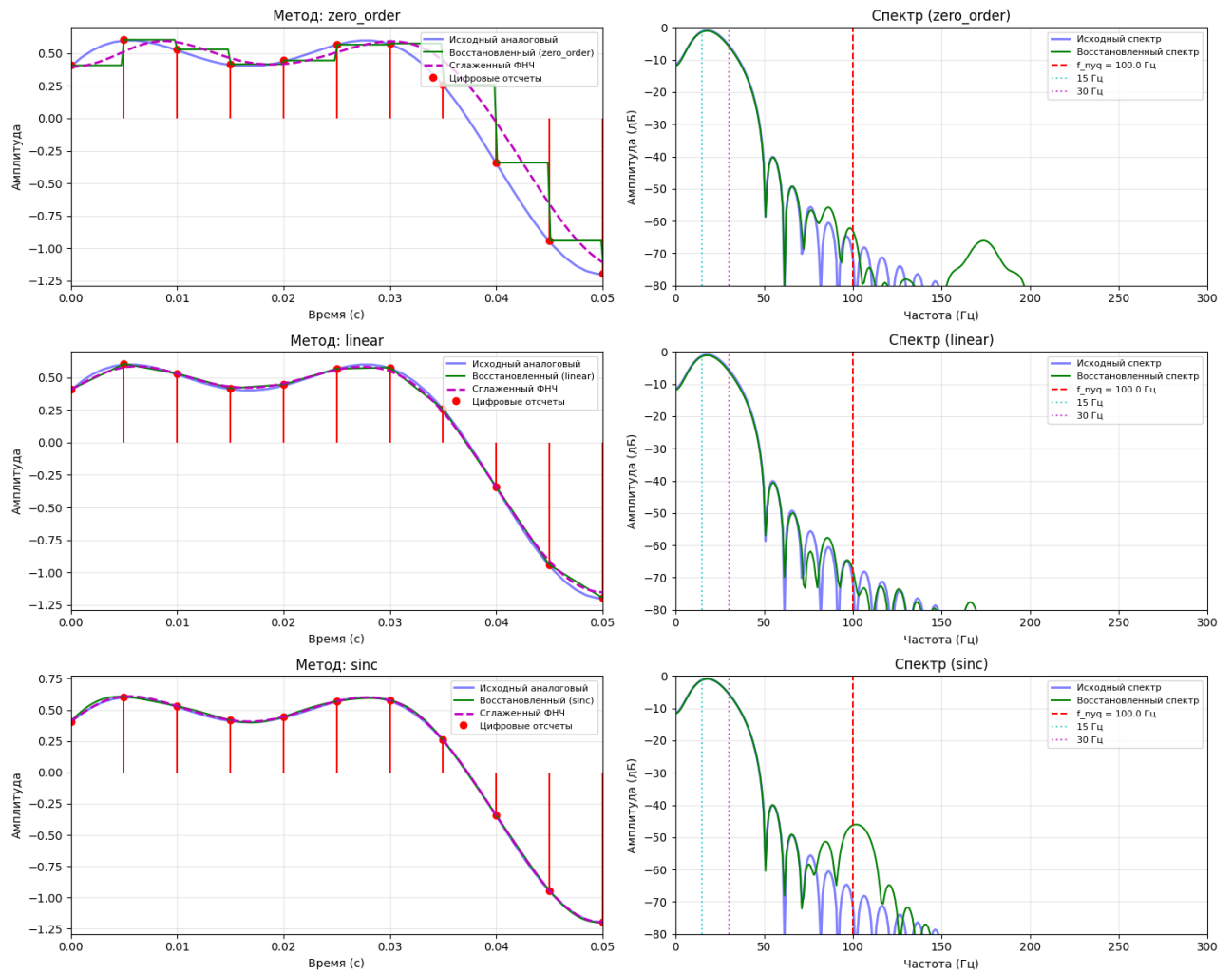


Рисунок 9 — Восстановление аналогового сигнала из цифрового