Учебный курс

Введение в цифровую электронику

Лекция 1

Аналоговые и цифровые сигналы

кандидат технических наук, доцент
Новиков Юрий Витальевич

Содержание курса

- Общие представления о принципах цифровой электроники;
- Основные понятия, термины, определения;
- Особенности цифровых сигналов;
- Логика работы базовых элементов цифровой электроники;
- Способы взаимодействия элементов, узлов, устройств;
- Принципы организации микропроцессорных систем;
- Методы организации информационного обмена по шинам;
- Взаимодействие программных и аппаратных средств.

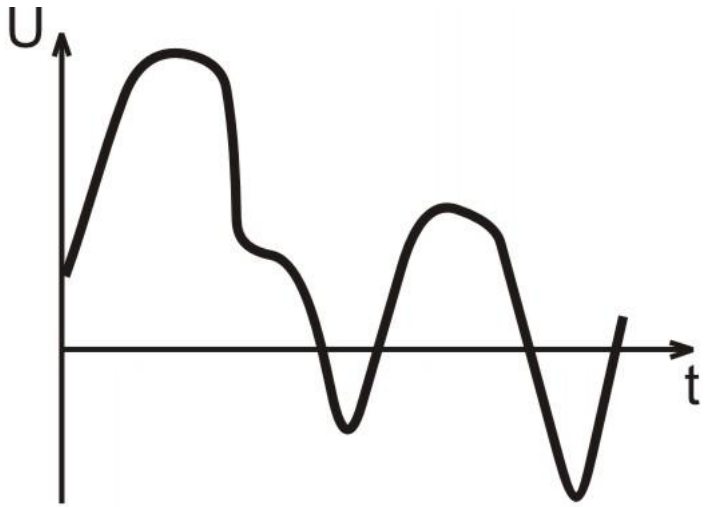
Задачи курса

- Освоение базовой терминологии цифровой электроники;
- Осознание преимуществ цифровой электроники;
- Понимание процессов, происходящих в цифровых устройствах;
- Понимание, от чего зависят основные характеристики цифрового устройства, и как их улучшить;
- Уяснение ограничений и недостатков цифровой электроники;
- Ознакомление с основными направлениями развития цифровой электроники.

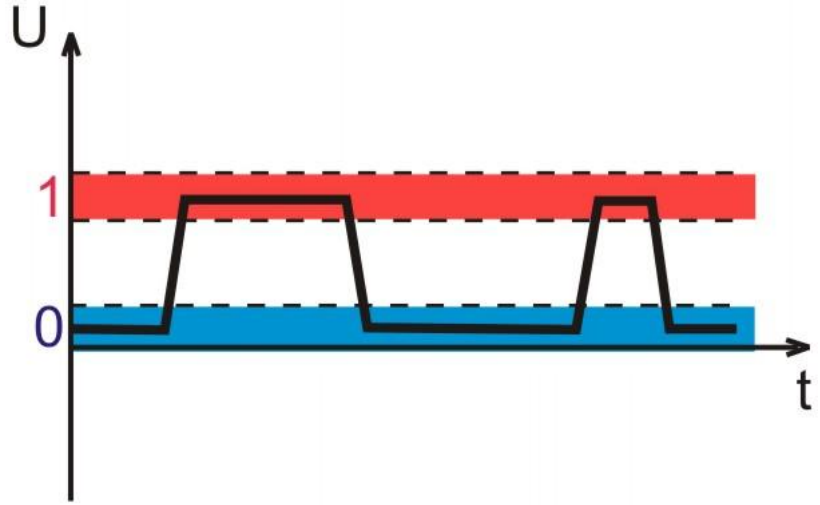
Базовые определения

- **Сигнал** — любая физическая величина (температура, давление воздуха, интенсивность света, сила тока и т.д.), изменяющаяся со временем.
- **Электрический сигнал** — электрическая величина (например, напряжение, ток, мощность), изменяющаяся со временем.
- **Аналоговый сигнал** — может принимать любые значения в определенных пределах. Устройства, работающие с аналоговыми сигналами, — аналоговые устройства. Аналоговый сигнал изменяется *аналогично* физической величине, т. е. непрерывно.
- **Цифровой сигнал** — может принимать только два значения. Причём разрешены некоторые отклонения от этих значений Устройства, работающие с цифровыми сигналами, — цифровые устройства.

Аналоговый и цифровой сигналы

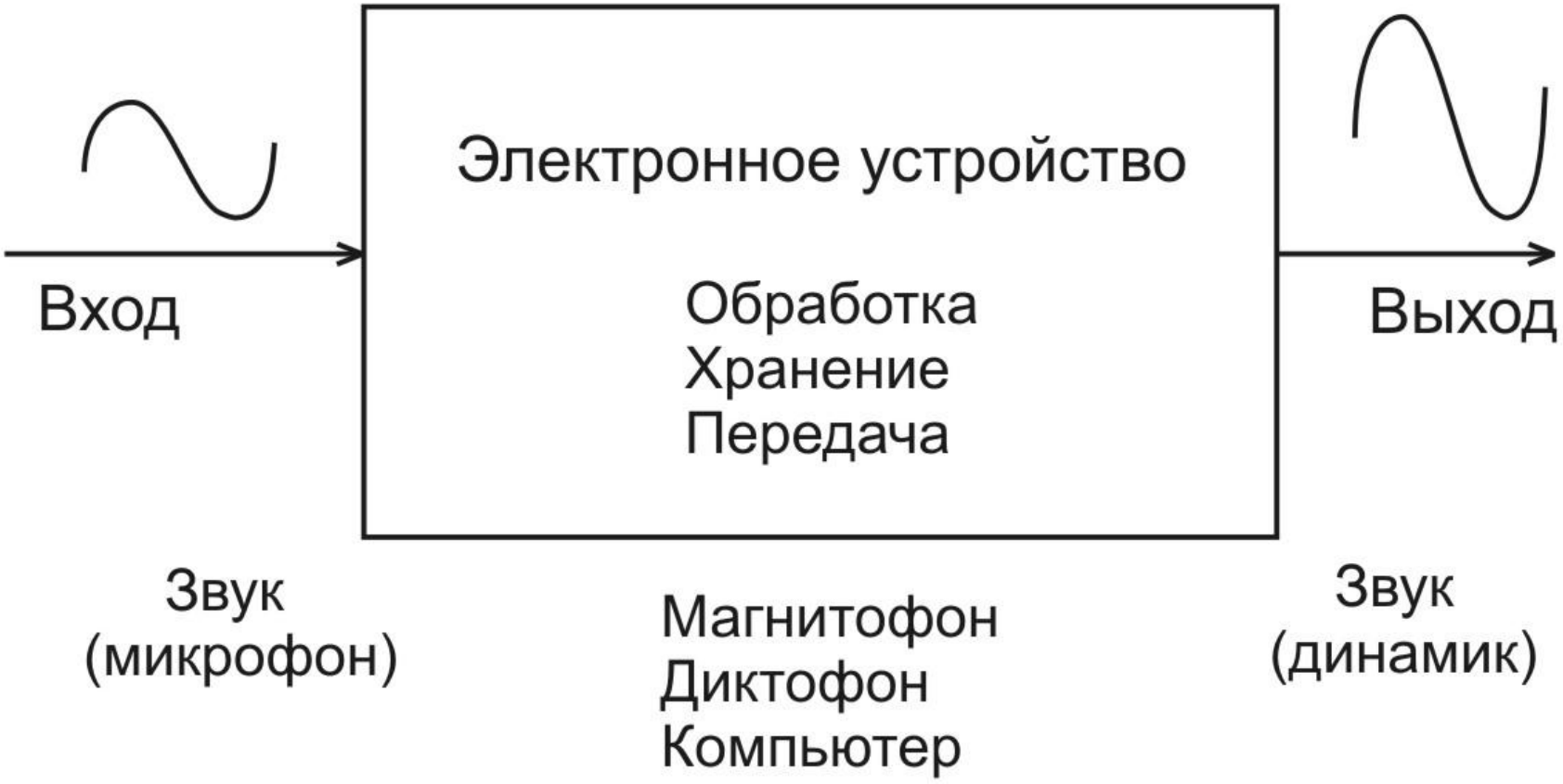


Аналоговый сигнал



Цифровой
(двухуровневый) сигнал

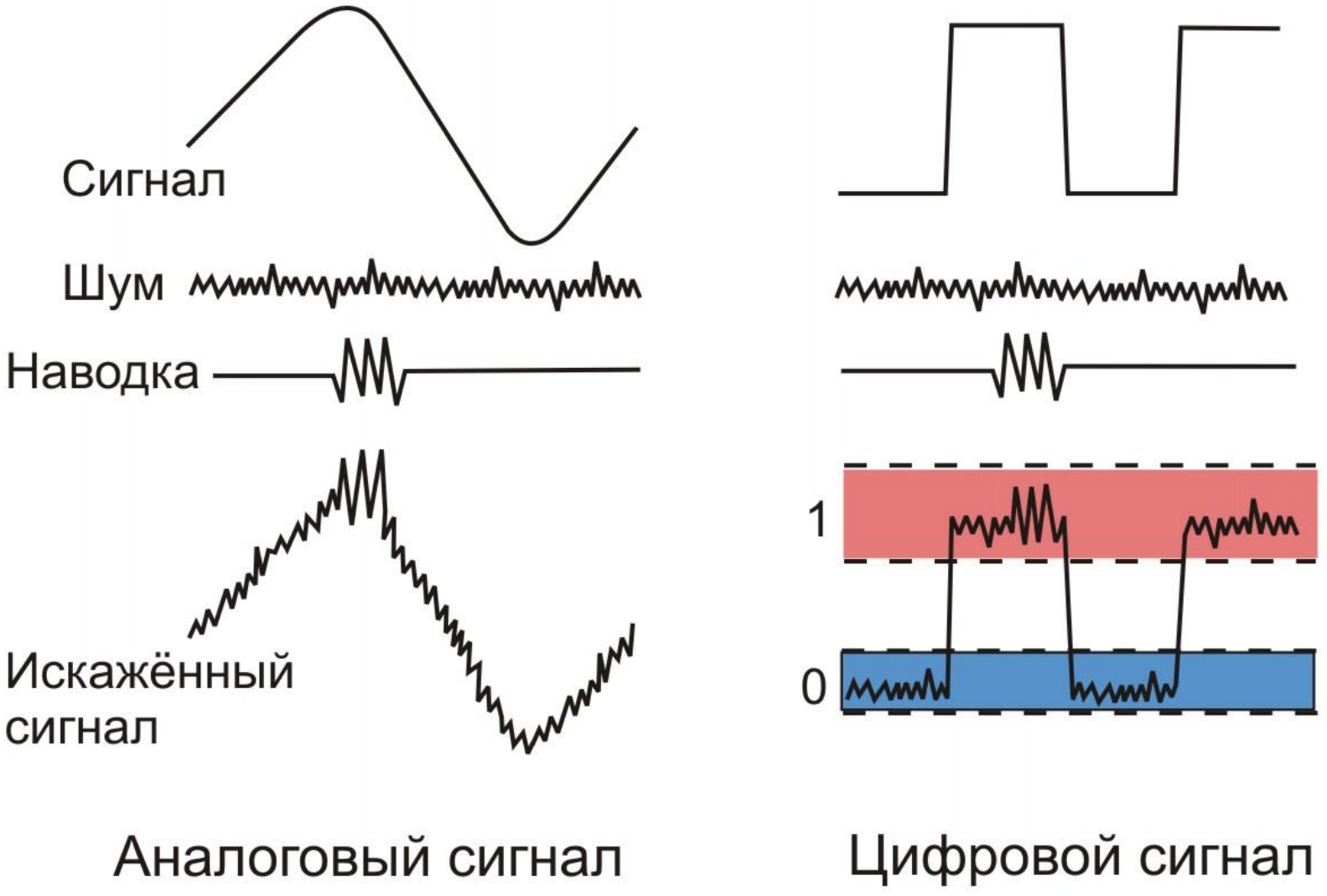
Электронное устройство



Причины искажений сигналов

- Несовершенство характеристик элементов аппаратуры;
- Шумы (слабые хаотические сигналы, вырабатываемые любым электронным компонентом);
- Наводки, помехи (сигналы, вызываемые внешними электромагнитными полями — радиопередача, трансформаторы, взаимовлияние цепей и т.д.);
- Старение элементов — изменение характеристик со временем;
- Внешние физические воздействия: температура, влажность, давление, вибрация и т.д.
- Паразитные эффекты (утечки, ёмкости, индуктивности, сопротивления).

Искажения сигналов шумами и наводками



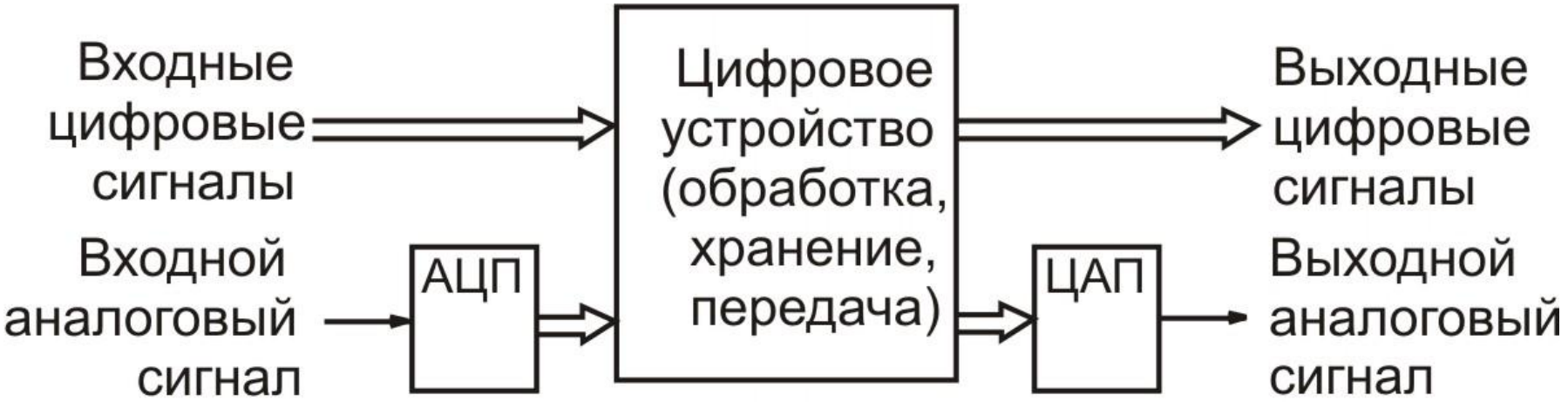
Преимущества цифровых сигналов

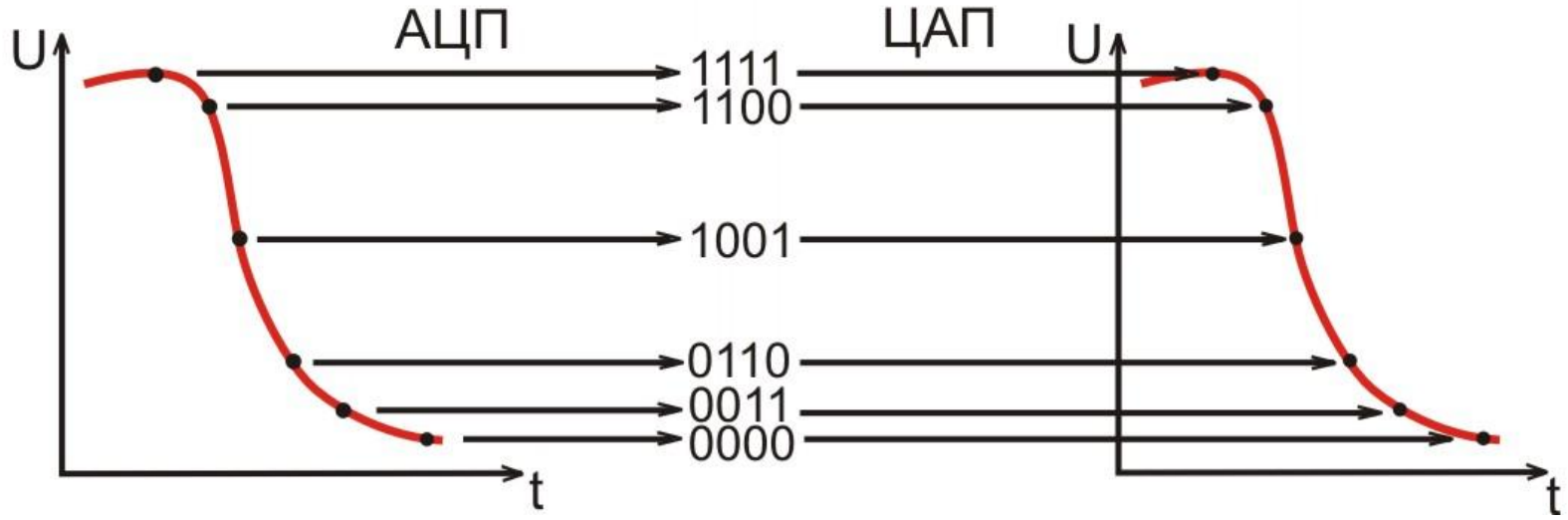
- Более сложная и многоступенчатая обработка, чем в случае аналоговых сигналов;
- Длительное хранение без потерь с возможностью многократного копирования без искажений;
- Качественная передача на большие расстояния без искажений;
- Цифровые устройства проще отлаживать, они меньше подвержены старению;
- Поведение цифровых устройств всегда можно точно рассчитать и предсказать;
- Цифровые устройства проще проектировать, отлаживать, тестировать.

Недостатки цифровых сигналов

- Принципиально меньшее предельное быстродействие цифровых устройств по сравнению с аналоговыми;
- Информационная ёмкость цифрового сигнала гораздо меньше, чем аналогового, поэтому для замены одного аналогового сигнала требуется несколько цифровых сигналов (от 4 до16) — код;
- Для связи с реальным миром требуются преобразователи аналоговых сигналов в цифровые (на входе, АЦП) и цифровых сигналов в аналоговые (на выходе, ЦАП);
- При простом алгоритме обработки цифровые устройства гораздо сложнее аналоговых.

Включение цифрового устройства

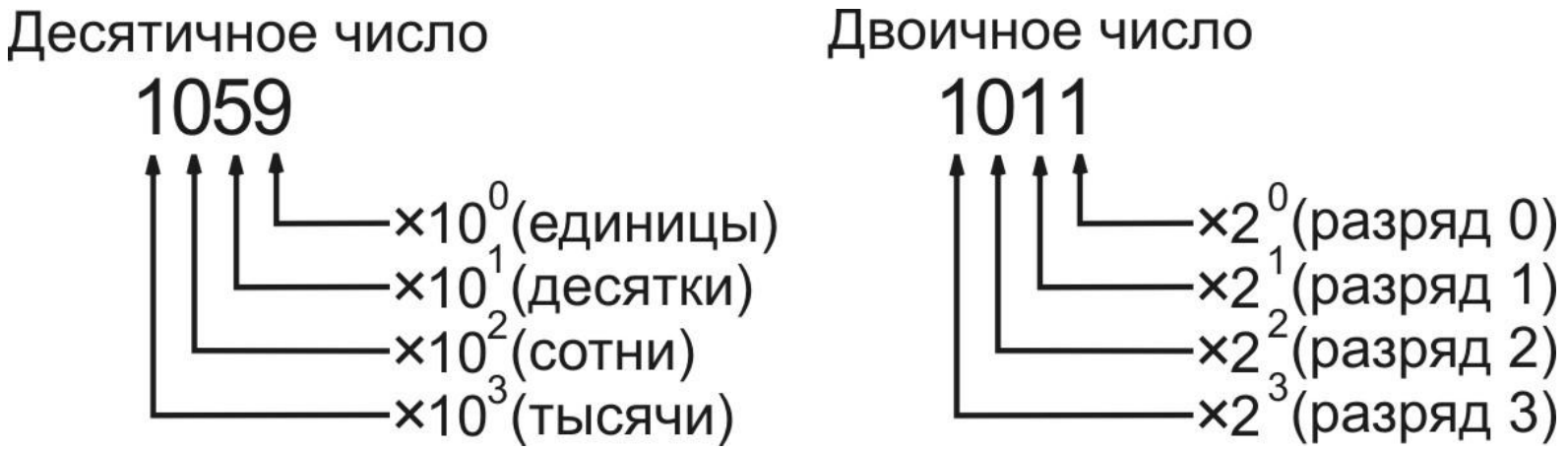




Виды цифровых сигналов

- **Одиночные цифровые сигналы:**
  - Разрешающие/запрещающие сигналы;
  - Сигнализирующие сигналы (флаги);
  - Синхронизирующие сигналы (определяющие момент времени выполнения операции).
- **Сгруппированные (шинные) цифровые сигналы (коды):**
  - Коды выборок аналоговых сигналов;
  - Коды адресации устройств (выбора нужного устройства);
  - Коды команд (инструкций);
  - Коды данных.

Двоичные числа

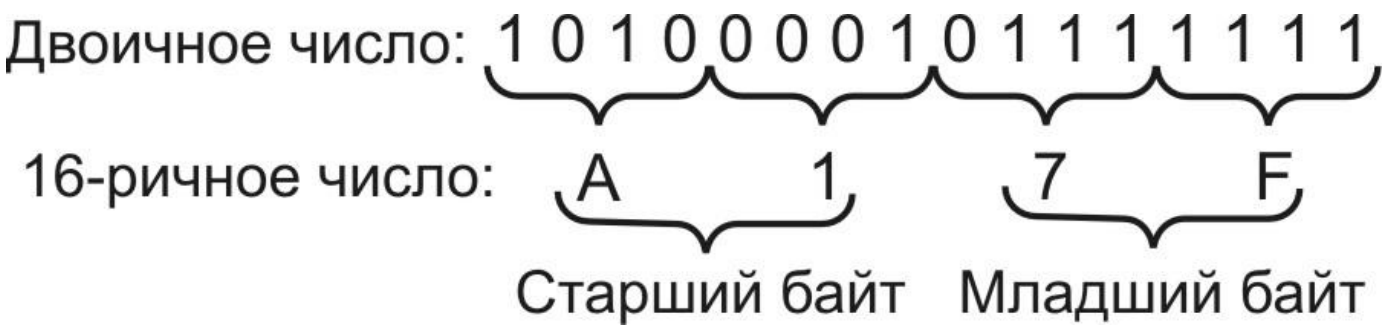


10-число	2-число	10-число	2-число
0	0	8	1000
1	1	9	1001
2	10	10	1010
3	11	11	1011
4	100	12	1100
5	101	13	1101
6	110	14	1110
7	111	15	1111

Понятия двоичной логики

- **Код** — двоичное число, а также метод представления двоичных чисел;
- **Разрядность кода** — количество двоичных разрядов кода (2^{10} = 1 024, 2^{20} = 1 048 576; 2^{30} = 1 073 741 824);
- **Бит** — один разряд двоичного числа (от англ. binary digit);
- **Байт** — восемь двоичных разрядов (битов) — принимает 2^8 значений: от 0 до 255;
- **Тетрада** (полубайт, ниббл) — четыре двоичных разряда, половина байта — принимает 2^4 значений: от 0 до 15;
- **Слово** — код, состоящий из нескольких байтов (чаще всего 2 байта — 16 разрядов, 4 байта — 32 разряда, 8 байт — 64 разряда);

Шестнадцатеричные числа



10-число	16-число	10-число	16-число
0	0 (0)	9	9 (1001)
1	1 (1)	10	A (1010)
2	2 (10)	11	B (1011)
3	3 (11)	12	C (1100)
4	4 (100)	13	D (1101)
5	5 (101)	14	E (1110)
6	6 (110)	15	F (1111)
7	7 (111)	16	10 (10000)
8	8 (1000)	17	11 (10001)

Операции с двоичными числами

Арифметические операции

Сложение
$$\begin{array}{r} 0111 \\ +\ 1011 \\ \hline 10010 \end{array}$$

Вычитание
$$\begin{array}{r} 10010 \\ -\ 0111 \\ \hline 1011 \end{array}$$

Дополнительный код: 1011

Старший (знаковый разряд)
0 - положительные числа
1 - отрицательные числа

Пример:
5 = 0101
-5 = 1011

Сумма:
$$\begin{array}{r} 0101 \\ +\ 1011 \\ \hline 0000 \end{array}$$

Перенос игнорируется

Логические (побитные) операции

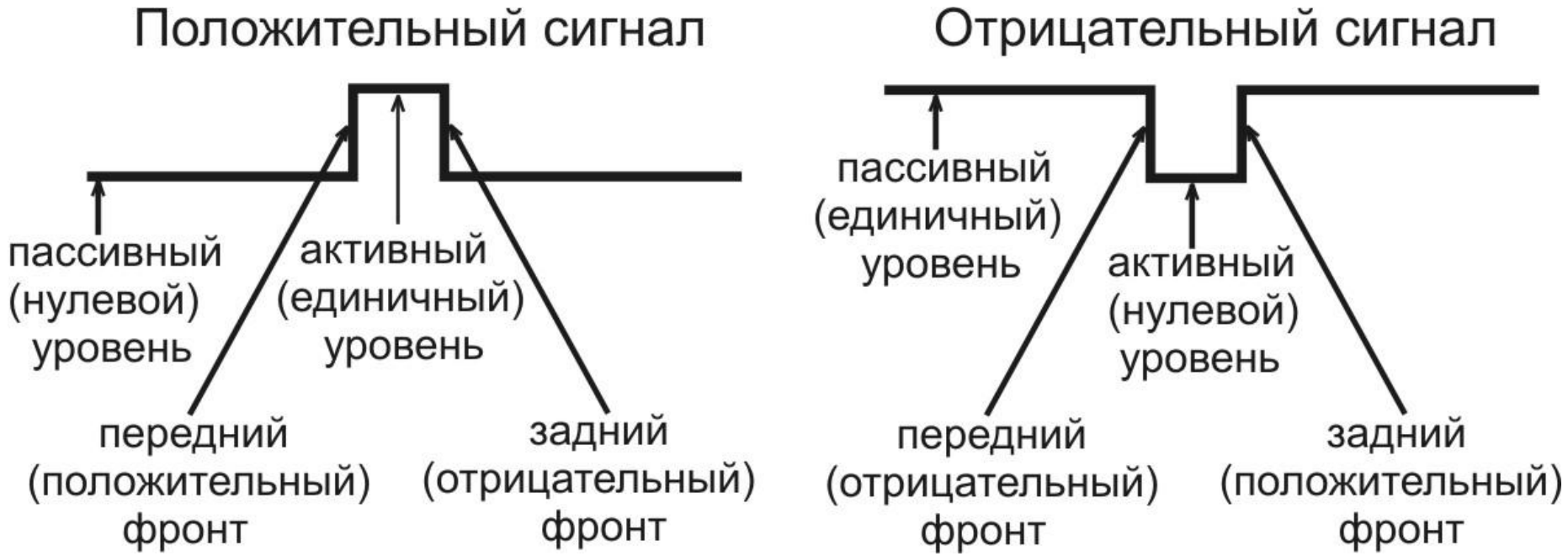
И (&)
$$\begin{array}{r} 1100 \\ 1010 \\ \hline 1000 \end{array}$$

ИЛИ
$$\begin{array}{r} 1100 \\ 1010 \\ \hline 1110 \end{array}$$

$\oplus$
$$\begin{array}{r} 1100 \\ 1010 \\ \hline 0110 \end{array}$$

НЕ
$$\begin{array}{r} 1100 \\ 0011 \end{array}$$

Элементы цифрового сигнала



Типы логики

- **Положительная логика** — логической единице соответствует высокий уровень напряжения, логическому нулю — низкий уровень напряжения;
- **Отрицательная логика** — логической единице соответствует низкий уровень напряжения, логическому нулю — высокий уровень напряжения.

Типы логики относятся к шинам (кодам). Одиночные сигналы (импульсы) называются положительными (единичными) или отрицательными (нулевыми).