

## Лекция №2

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Дисциплина: Архитектура вычислительных систем и компьютерные сети

Преподаватель: Миронов Константин Валерьевич

Поток: ПРО-3

Учебный год: 2024/25



# Содержание лекции



- **Аналоговые вычисления**
- Элементная база цифровых вычислений
- Базовые логические функции

# Аналоговые вычисления

- Вычислительные устройства бывают **аналоговые** и **цифровые**
- Аналоговые появились раньше
  - Вычисления на основе конкретных физических параметров
  - На данный момент не являются универсальными, предназначены для решения конкретных задач
  - Исторические – гидравлические, механические, пневматические, электромеханические
  - Современные – электронные
    - Плюсы – скорость реакции, возможность интегрировать и дифференцировать
    - Пример актуального приложения – биологически правдоподобные нейроморфные вычисления
    - Аналоговые ЭВМ строятся на основе **операционных усилителей**

# Аналоговые вычисления

## Операционный усилитель

- Усилители в целом – это устройства, которые изменяют некоторый сильный выходной сигнал пропорционально слабому входному
- В операционном усилителе:

$U_+$  - неинвертирующий вход

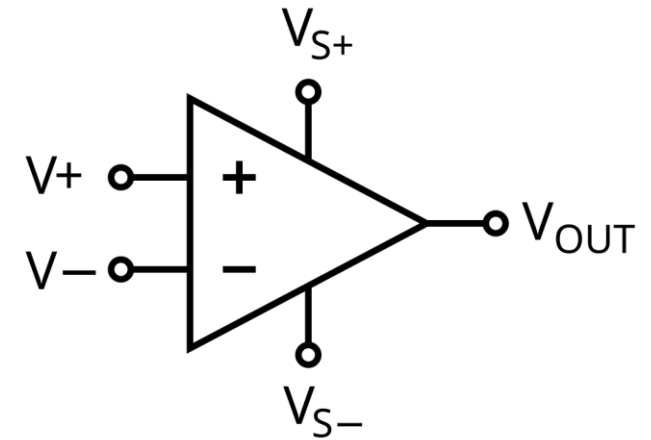
$U_-$  - инвертирующий вход

$U_{S+}$  - плюс источника питания

$U_{S-}$  - минус источника питания

$U_{OUT}$  - выход

$G \rightarrow \infty$  – собственный коэффициент усиления



$$U_{OUT} = (U_+ - U_-) * G$$

- С точки зрения аналоговой схемотехники ОУ сам по себе работает как **усилитель с дифференциальным входом**, но плохо ( $G$  велик, скачет, не регулируется и т.д.)
- ОУ можно использовать как **компаратор**: если  $U_+ > U_-$  то  $U_{OUT} > 0$  и наоборот

# Аналоговые вычисления

## Аналоговая схемотехника на ОУ

- **Неинвертирующий усилитель**

$$U_{OUT} = U_{+} * \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

- **Повторитель** – частный случай, когда  $R_1 \rightarrow \infty, R_2 \rightarrow 0$

$$U_{OUT} = U_{+}$$

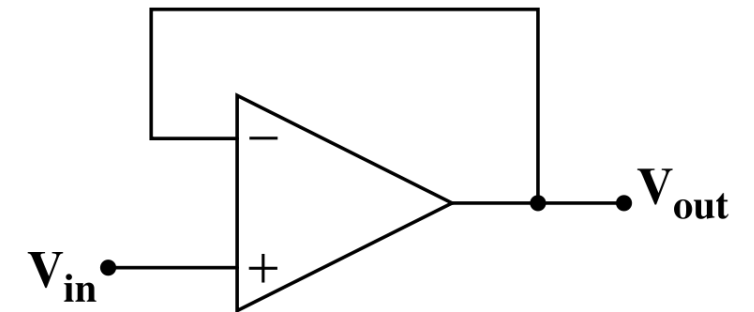
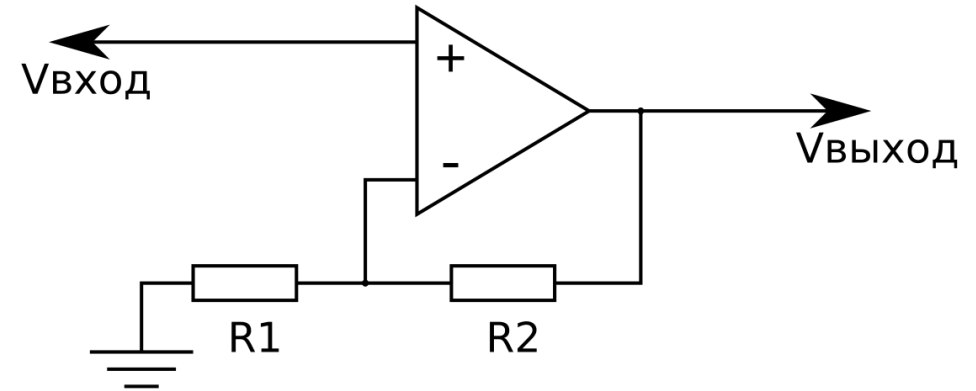
(используется для снижения влияния нагрузки на источник)

- **Инвертирующий усилитель**

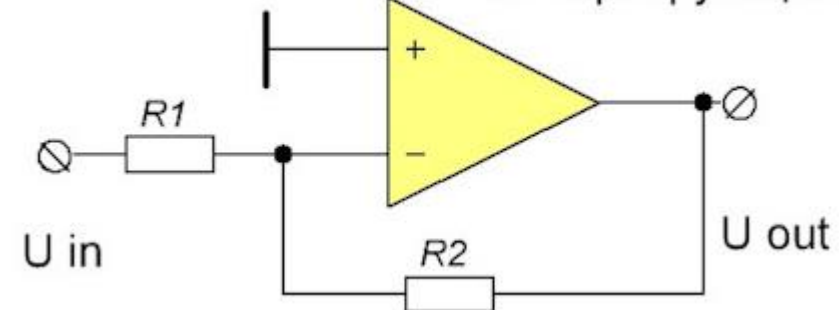
$$U_{OUT} = -U_{-} * \frac{R_2}{R_1}$$

5

$R_2$  - сопротивление обратной связи



Инвертирующий



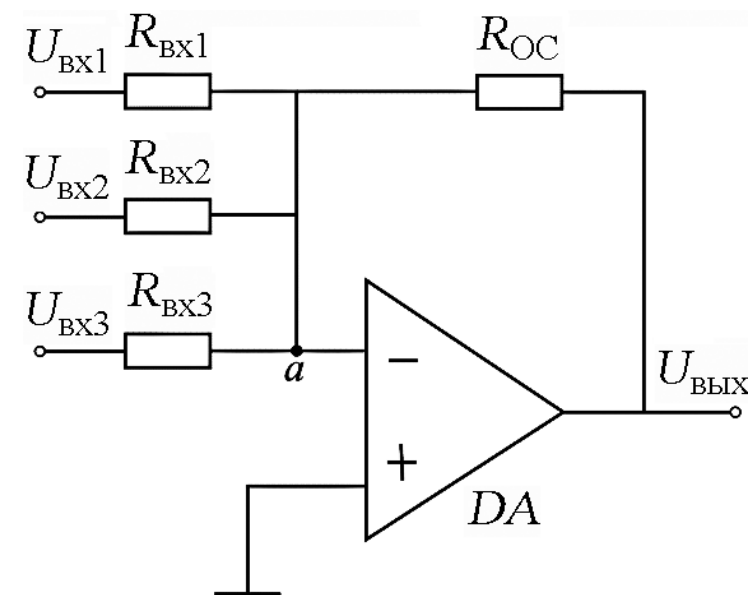
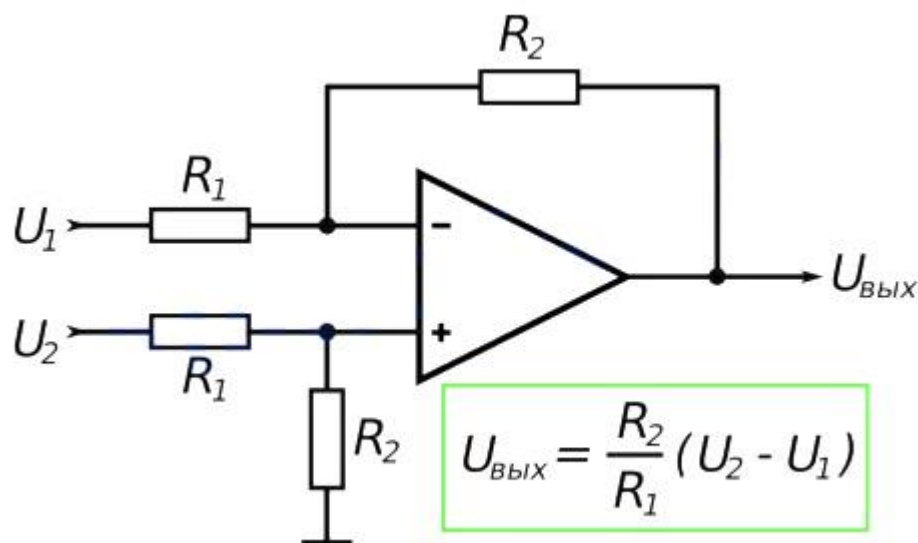
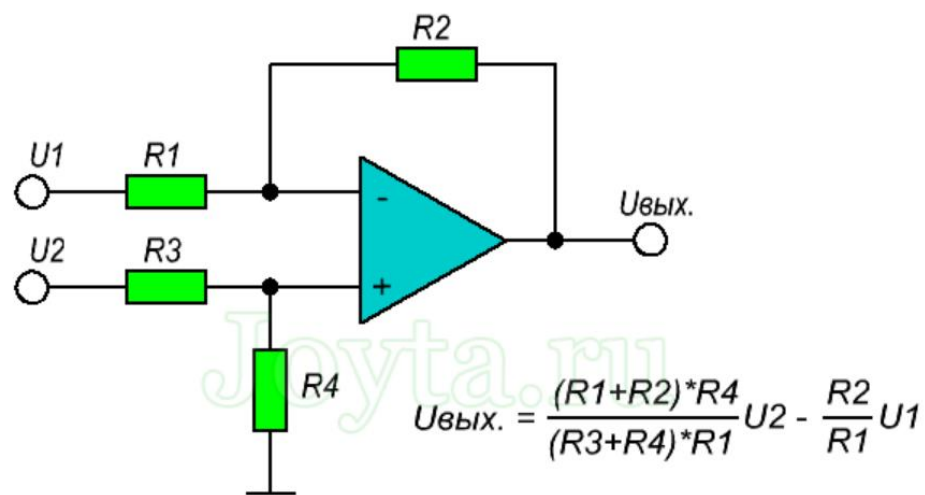
# Аналоговые вычисления

## Аналоговая схемотехника на ОУ

- Сумматор

$$U_{OUT} = -R_{OC} * \left( \frac{U_1}{R_1} + \dots + \frac{U_n}{R_n} \right)$$

- Вычитатель

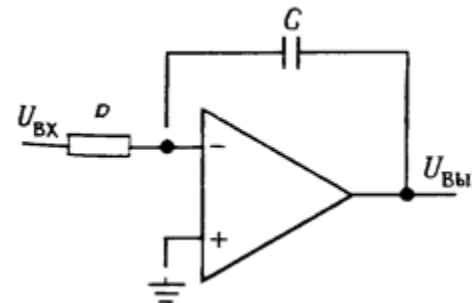


# Аналоговые вычисления

## Аналоговая схемотехника на ОУ

- **Интегратор**

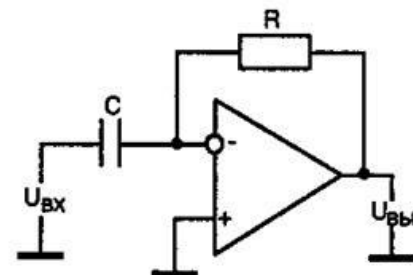
$$U_{OUT}(t) = U_{IN}(0) - \frac{1}{RC} \int_0^t U_{IN}(\tau) d\tau$$



На практике параллельно конденсатору ставят дополнительный резистор

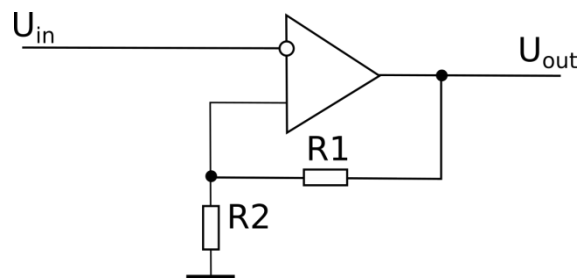
- **Дифференциатор**

$$U_{OUT} = -RC \frac{dU_{IN}}{dt}$$



На практике параллельно резистору ставят дополнительный конденсатор

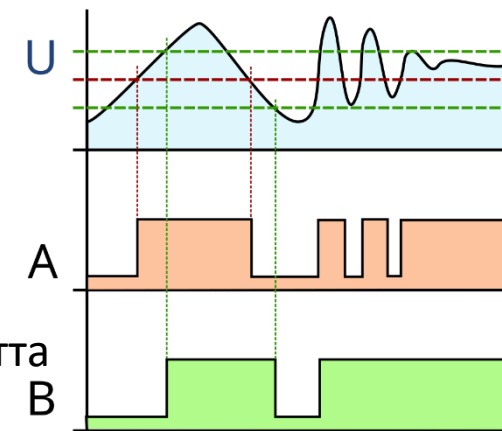
- **Триггер Шмитта** (компаратор с гистерезисом)



Исходный сигнал

Выход компаратора

Выход триггера Шмитта



# Содержание лекции



- Аналоговые вычисления
- **Элементная база цифровых вычислений**
- Базовые логические функции

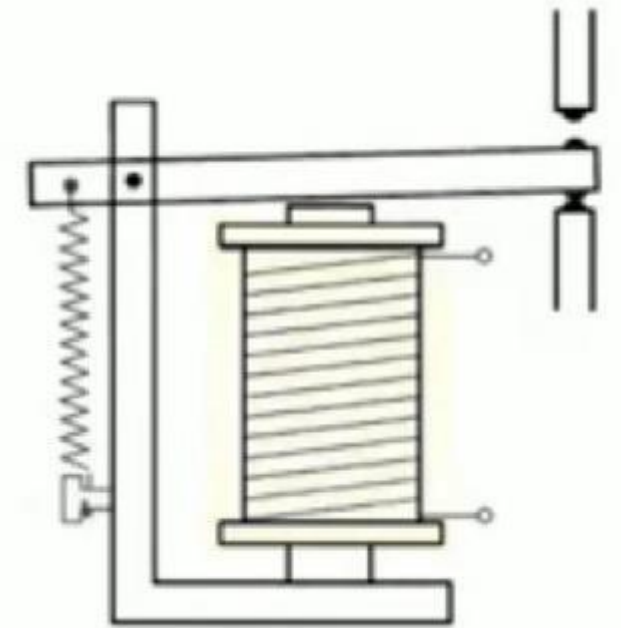


# Элементная база цифровых вычислений

- Основа цифровых вычислений – логические операции
- Для построения логических операций нужна возможность включать/отключать один сигнал с помощью другого
- Исторические способы реализации:
  - Электромагнитные реле (1930-е)
  - Вакуумные лампы (1940-50-е)
  - Биполярные транзисторы (ТТЛ(Ш), ЭСЛ, ИИЛ – 1960-70-е)
  - Униполярные транзисторы (КМОП-логика, современность)

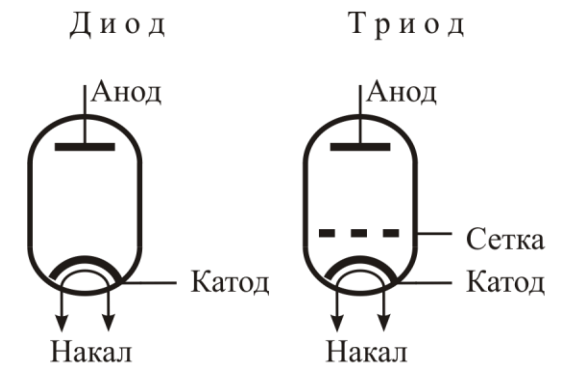
# Элементная база цифровых вычислений

- Основа цифровых вычислений – логические операции
- Для построения логических операций нужна возможность включать/отключать один сигнал с помощью другого
- Исторические способы реализации:
  - **Электромагнитные реле (1930-е)**
    - Сигнал переключается механическим замыканием / размыканием контактов – тактовая частота несколько Гц
  - Вакуумные лампы (1940-50-е)
  - Биполярные транзисторы (ТТЛ(Ш), ЭСЛ, ИИЛ – 1960-70-е)
  - Униполярные транзисторы (КМОП-логика, современность)



# Элементная база цифровых вычислений

- Основа цифровых вычислений – логические операции
- Для построения логических операций нужна возможность включать/отключать один сигнал с помощью другого
- Исторические способы реализации:
  - Электромагнитные реле (1930-е)
  - **Вакуумные лампы (1940-50-е)**
    - Ток возможен только от катода к аноду (электроны летят через вакуум), но не наоборот (носители положительного заряда не перемещаются)
    - Управляя напряжением на сетке, можно перекрывать ток на аноде
    - Минус ламп – большой размер
  - Биполярные транзисторы (ТТЛ(Ш), ЭСЛ, ИИЛ – 1960-70-е)
  - Униполярные транзисторы (КМОП-логика, современность)



# Элементная база цифровых вычислений

## Логика на биполярных транзисторах

- ТТЛ(Ш), ЭСЛ, ИИЛ – 1960-70-е
- n-p переход – граница между полупроводниками с электронной и дырочной проводимостью
- Ток через переход возможен в одну сторону (электроны и дырки на переходе взаимно уничтожаются)
- Транзистор может находится в разных режимах, в зависимости от того, идет ли ток через эмиттер и/или коллектор

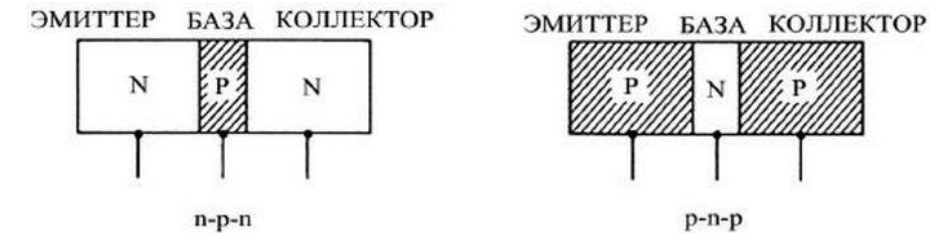
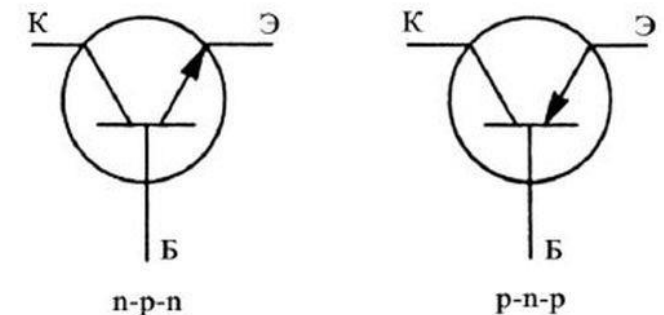


Рис. 2-31. Структура биполярных n-p-n и p-n-p транзисторов

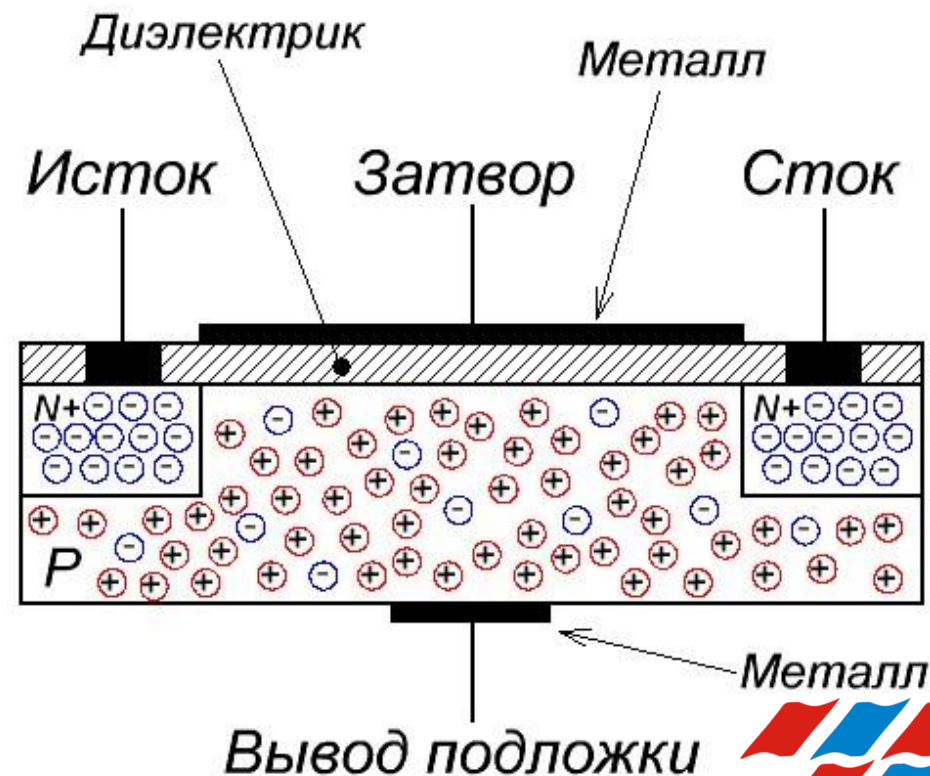


RADIOSKOT.RU

# Элементная база цифровых вычислений

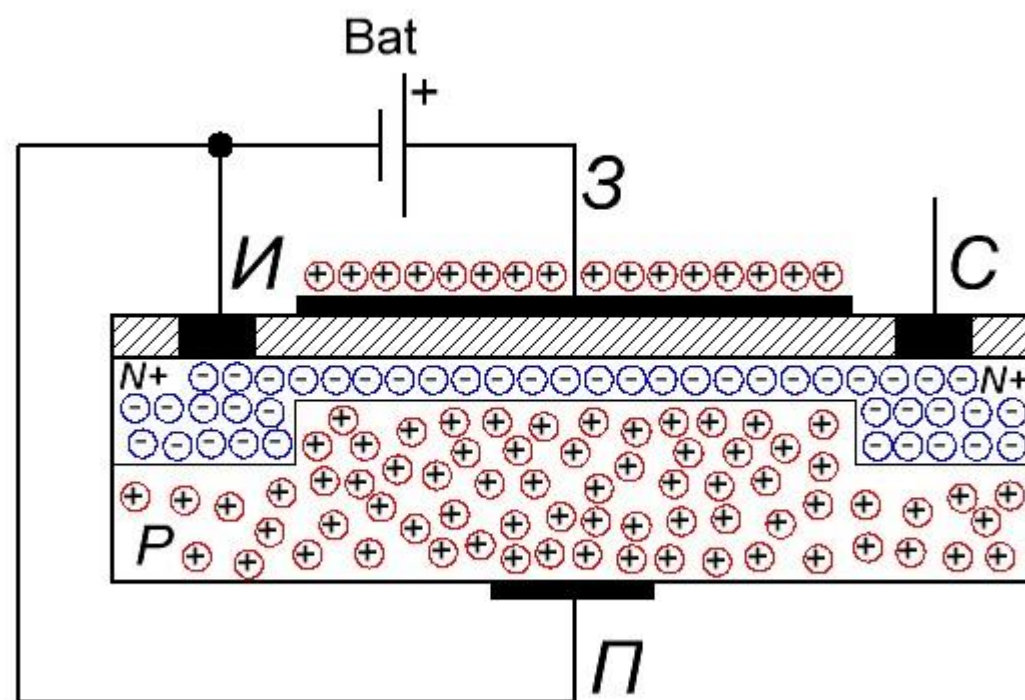
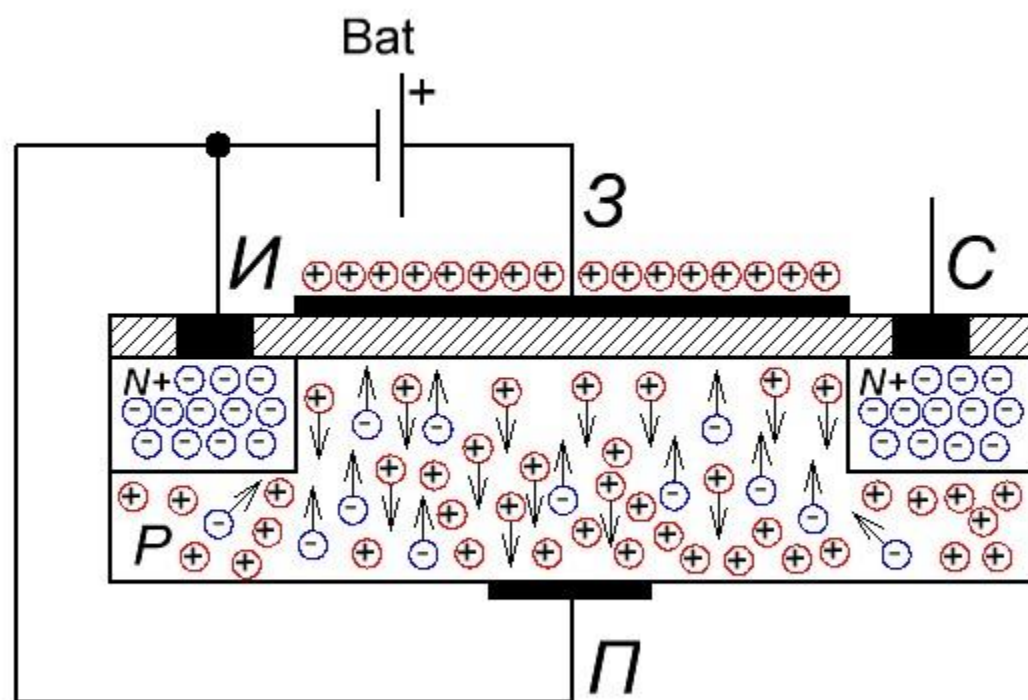
## КМОП-логика

- КМОП-логика – основа современных цифровых схем
- **Комплементарная** структура **Металл-Оксид-Полупроводник**
- Основа – униполярные (полевые) транзисторы
  - В отличие от вакуумных ламп n-p переход неидеален – в полупроводниках с дырочной проводимостью есть электроны и наоборот
  - Если подвести к затвору положительное напряжение, то заряд в подложке поляризуется и появится канал, по которому возможен ток от истока к стоку



# Элементная база цифровых вычислений

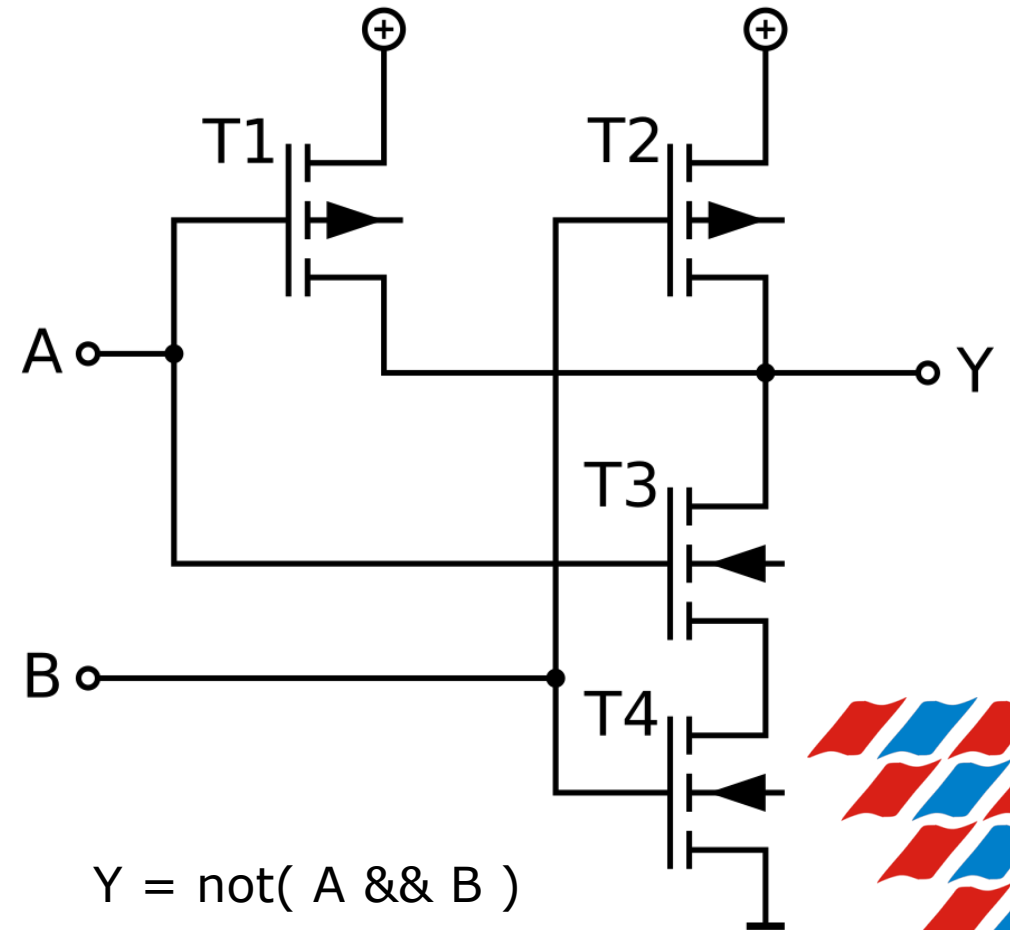
## Принцип работы МОП-транзистора



# Элементная база цифровых вычислений

## КМОП-логика

- На униполярных транзисторах можно строить логические элементы
- Сравнение с логикой на биполярных транзисторах
  - Меньше энергопотребление (управление напряжением, а не током)
  - Больше частота
  - Ниже точность (было критично для аналоговых вычислений)



# Содержание лекции

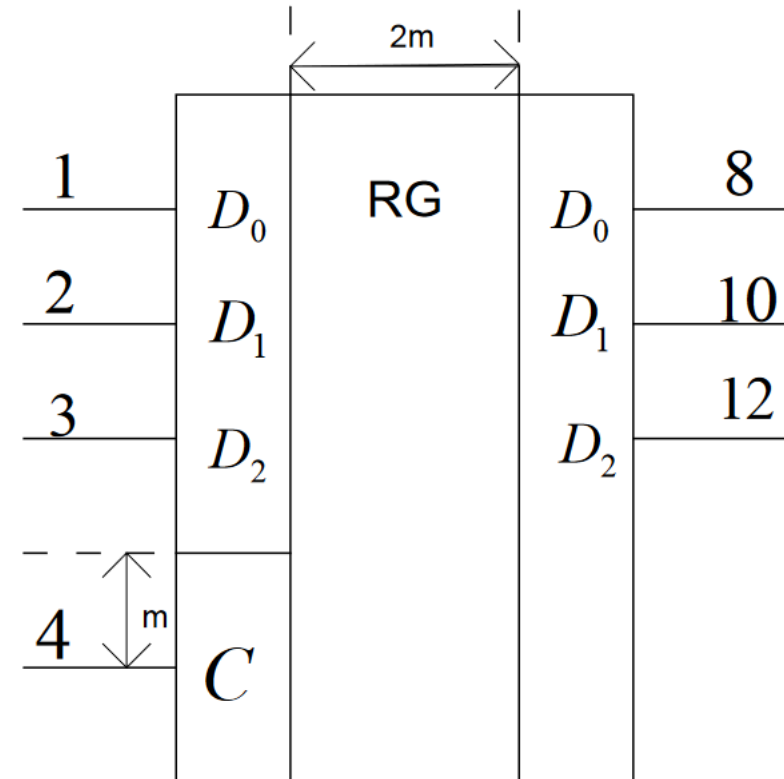
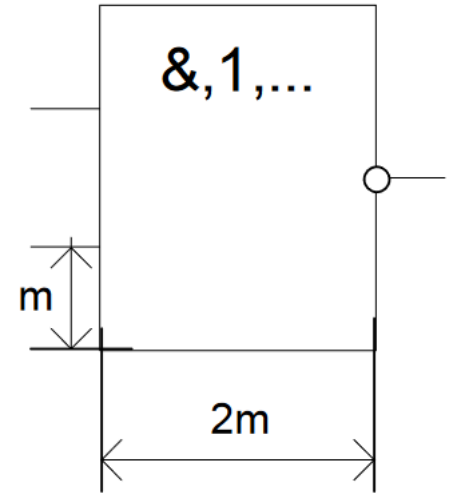


- Аналоговые вычисления
- Элементная база цифровых вычислений
- **Базовые логические функции**



# Базовые логические элементы

- УГО - **у**словн**о-г**рафическ**ое о**бозначение при начертании логических элементов и устройств на схемах
- Отечественная система – прямоугольники
  - Модуль  $m$  – минимальное расстояние между соседними элементами изображения (одна клетка при рисовании в тетради, 5-8 линий при верстке)
  - Слева изображаются входы, а справа – выходы
  - Поворот элементов не допускается.
  - Полка – дополнительное поле шириной в 1 модуль для указания в нем функции входа или выхода
  - Рядом с входами и выходами указываются номер микросхем

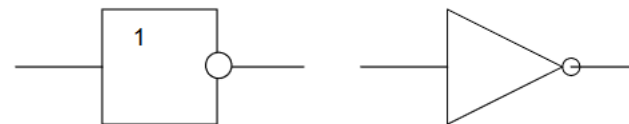


# Базовые логические элементы

УГО

Отечественные      Зарубежные

1) НЕ       $\bar{x}$

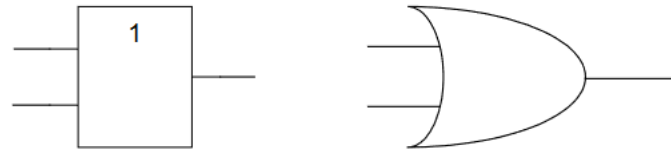


2) ИЛИ-НЕ       $\overline{x_1 + x_2}$

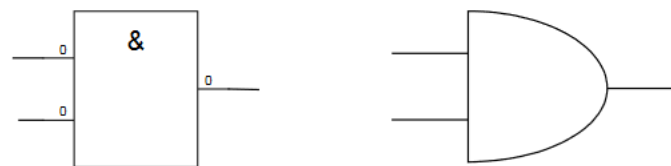


# Базовые логические элементы

3) ИЛИ  $x_1 + x_2$

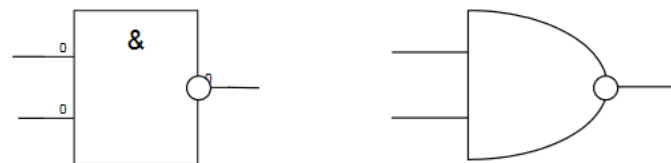


4) И  $x_1 * x_2$



5) И-НЕ  $\overline{x_1 * x_2}$

2И-НЕ - число означает количество входов



6) Исключающее ИЛИ (XOR)  $(A \oplus B)$

