

# Физические и логические основы схемотехники

Луцив Дмитрий Вадимович

Кафедра системного программирования СПбГУ



- 1 Принципы действия активных электронных компонент
  - Электромагнитные реле
  - Ламповые диоды и триоды (I поколение)
  - Полупроводниковые диоды и транзисторы (II и последующие поколения)
- 2 Вентили
  - Вводная информация
  - Электронные схемы вентилей

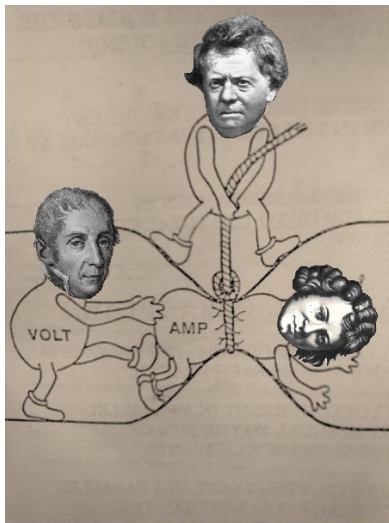
## Принципы действия активных электронных компонент

- Электромагнитные реле
- Ламповые диоды и триоды (I поколение)
- Полупроводниковые диоды и транзисторы (II и последующие поколения)

**Внимание!**

**Здесь надо смотреть и слушать лекцию, а не только слайды**

<https://en.wikipedia.org/wiki/Relay>



$$U = IR$$

## Ламповые диоды и триоды

- Диоды [↗](#)
- Триоды [↗](#)

## Что мы узнаём?

- Термоэлектронная эмиссия
- Неуправляемые потенциальные барьеры
- Управляемые потенциальные барьеры

## Ламповые диоды и триоды

- Диоды [↗](#)
- Триоды [↗](#)

## Что мы узнаём?

- Термоэлектронная эмиссия
- Неуправляемый потенциальный барьер
- Управляемый потенциальный барьер

## Немного духа

- Немного духа 1960-х [↗](#)
- Немного викторианского духа в наши дни [↗](#)



## Полупроводниковые диод и транзистор

- Диод [↗](#)
- Биполярный транзистор [↗](#)
- Полевой транзистор [↗](#) (бывает P-N, но чаще МОП/MOSFET)

## Полупроводниковые диод и транзистор

- Диод [↗](#)
- Биполярный транзистор [↗](#)
- Полевой транзистор [↗](#) (бывает P-N, но чаще МОП/MOSFET)

## Полупроводниковые диод и транзисторы

- Как полупроводниковый диод и биполярный транзистор умудряются работать?.. [↗](#)
  - Симулятор биполярного NPN-транзистора [↗](#)
- Как умудряется работать полевой транзистор?.. [↗](#)
  - Симулятор полевого N-транзистора [↗](#)

## Полупроводниковые диод и транзистор

- Диод [↗](#)
- Биполярный транзистор [↗](#)
- Полевой транзистор [↗](#) (бывает P-N, но чаще МОП/MOSFET)

## Полупроводниковые диод и транзисторы

- Как полупроводниковый диод и биполярный транзистор умудряются работать?.. [↗](#)
  - Симулятор биполярного NPN-транзистора [↗](#)
- Как умудряется работать полевой транзистор?.. [↗](#)
  - Симулятор полевого N-транзистора [↗](#)

[Список симуляторов ↗](#)

## Полупроводниковые диод и транзистор

- Диод [↗](#)
- Биполярный транзистор [↗](#)
- Полевой транзистор [↗](#) (бывает P-N, но чаще МОП/MOSFET)

## Полупроводниковые диод и транзисторы

- Как полупроводниковый диод и биполярный транзистор умудряются работать?.. [↗](#)
  - Симулятор биполярного NPN-транзистора [↗](#)
- Как умудряется работать полевой транзистор?.. [↗](#)
  - Симулятор полевого N-транзистора [↗](#)

[Список симуляторов ↗](#)

## Немного духа

- Немного духа 1960-х [↗](#)

# Полевой или биполярный?..

Обычно полевой, поскольку:

- Полевой управляется потенциалом
  - Для высокого потенциала в микросхемах «мало места» (напряжённость поля высока)

# Полевой или биполярный?..

Обычно полевой, поскольку:

- Полевой управляется потенциалом
  - Для высокого потенциала в микросхемах «мало места» (напряжённость поля высока)
- Биполярный управляется током
  - Для большого тока в микросхемах места ещё меньше...

## Вентили

- Вводная информация
- Электронные схемы вентиляей

# Что такое вентиль?

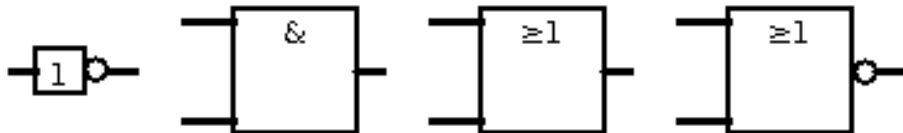
**Вентиль (gate)** — устройство, реализующее ту или иную логическую связку



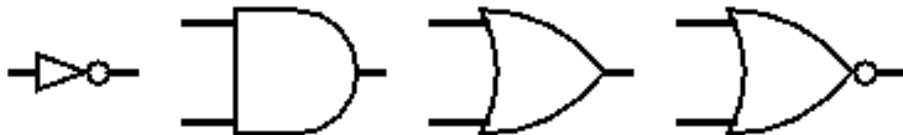
# Что такое вентиль?

**Вентиль (gate)** — устройство, реализующее ту или иную логическую связку

Вентили «не», «и», «или», «или-не» (NOR — «not-or», ↓)



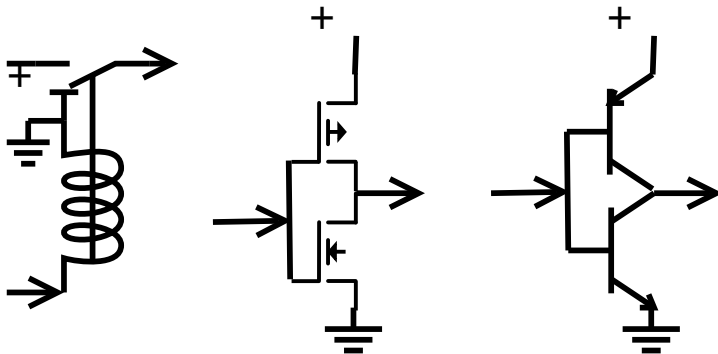
IEC / ГОСТ



ANSI

- Компоненты машины Беббиджа
- Пожаробезопасные и неизлучающие элементы универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики [↗](#)
- Пневмоника [↗](#) (в т.ч. самодельная [↗](#))
- Логические козлы [↗](#)
  - В действии [↗](#)

# Отрицание «с переключением»

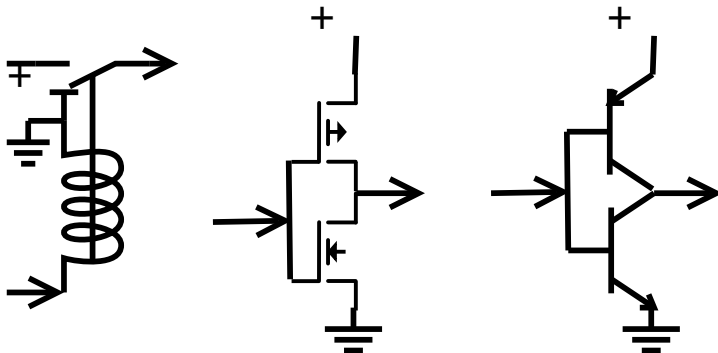


Реле и логика на основе КМОП и биполярных транзисторов

Симуляторы:

- МОП ТТЛ [↗](#)

# Отрицание «с переключением»



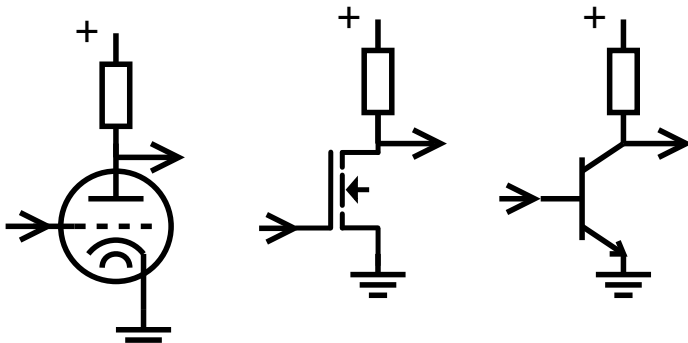
Реле и логика на основе КМОП и биполярных транзисторов

Симуляторы:

● [МОП ТТЛ](#)

А могут быть и более простые обозначения: [BOT](#) и [BOT](#)

# Отрицание с согласующим резистором

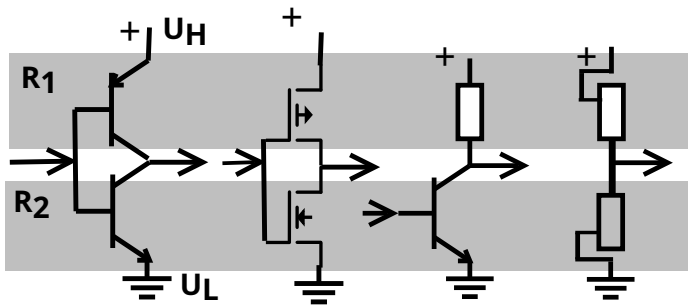


Триод и логика на основе резистора и транзистора

Симуляторы:

- Бип. РТЛ [↗](#)

# Как оно работает? (I)



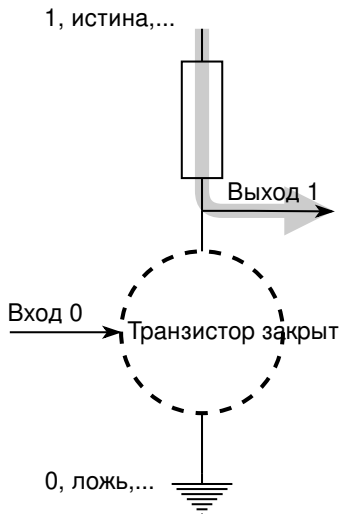
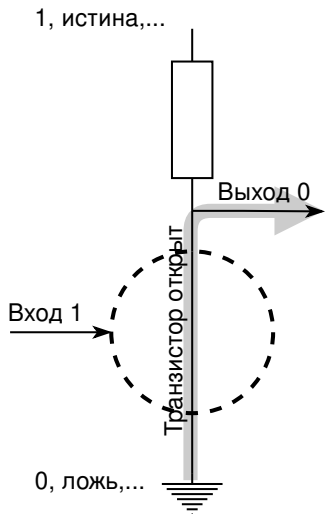
$I_{ВХ}$  и  $I_{ВЫХ}$  малы  $\Rightarrow I_{R_1} \approx I_{R_2}$ . Также  $\Delta U_{R1} / \Delta U_{R2} \approx R_1 / R_2$

Легко вывести:

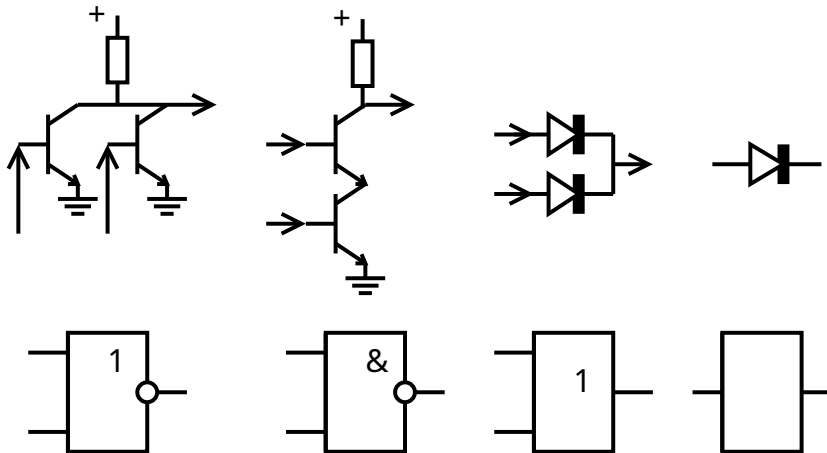
$$U_{ВЫХ} \approx \frac{U_H R_2 + U_L R_1}{R_1 + R_2}$$

Тогда:  $R_1 \ll R_2 \Rightarrow U_{ВЫХ} \approx U_H$  и  $R_1 \gg R_2 \Rightarrow U_{ВЫХ} \approx U_L$

## Как оно работает? (2)



Пример для резисторно-транзисторной логики



- Согласующие резисторы Везде, где схема может «не выдавать» сигнал (иногда с нулём)
- Диоды на входах, чтобы предотвратить распространение сигнала по входным линиям



- В теории: можно комбинировать вентили произвольно, любой выход можно подавать на произвольное число входов, собирать произвольные логические схемы

- В теории: можно комбинировать вентили произвольно, любой выход можно подавать на произвольное число входов, собирать произвольные логические схемы
- На практике: есть утечки, даже полевые транзисторы потребляют небольшой ток, поэтому некоторые сигналы приходится аналогово усиливать, а иногда — намеренно упрощать схему (пример — не полностью ассоциативный кэш)

- 2010: **Electromechanical Computing at 500°C with Silicon Carbide** ↗ Опытные микросхемы на основе карбида кремния (SiC) работают при 500 — 650°C, но медленные и жадные до питания. Альтернатива — механические реле нанометрового масштаба.
- 2017: **Cascaded spintronic logic with low-dimensional carbon** ↗ Графеновые полевые транзисторы с большим быстродействием и широким диапазоном рабочих температур
- 2022: **Moore's Law: Scientists Just Made a Graphene Transistor Gate the Width of an Atom** ↗ Транзистор размером 0,34 нм.

## Вопросы

- 1 Что такое логический вентиль?
- 2 Постройте вентиль «не» на основе реле, триодов и транзисторов
- 3 Постройте вентили «и», «или», «или-не» на основе транзисторов с согласующим резистором

## Упражнения

- 1 Попробуйте спроектировать резисторно-транисторные элементы на основе PNP-транзисторов

# Вопросы



[EDU.DLUCIV.NAME](https://edu.dluciv.name) 