

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 вентиляей

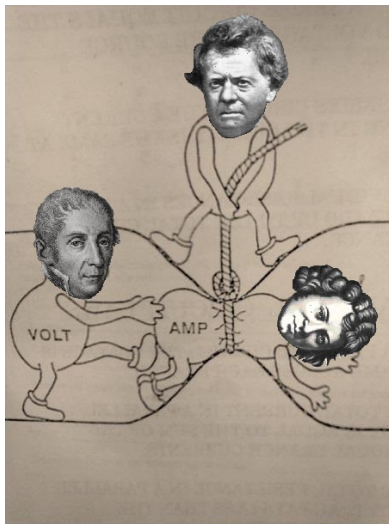
Принципы действия активных электронных компонент

- 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
- Неуправляемый потенциальный барьер
- Управляемый потенциальный барьер

Ламповые диоды и триоды

- Диоды [↗](#)
- Триоды [↗](#)

Что мы узнаём?

- Термоэлектронная эмиссия
- Неуправляемый потенциальные барьер
- Управляемый потенциальные 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 элементы

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

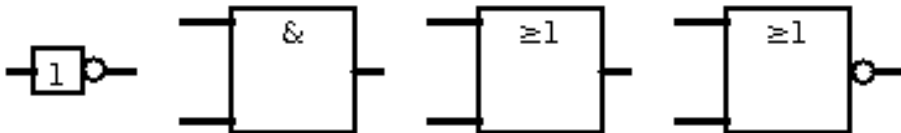
Что такое вентиль?

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

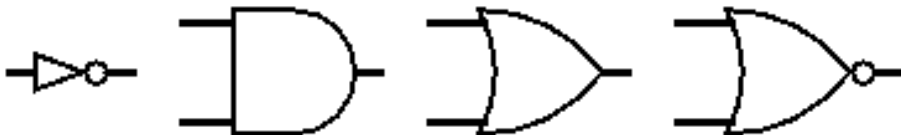
Что такое вентиль?

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

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



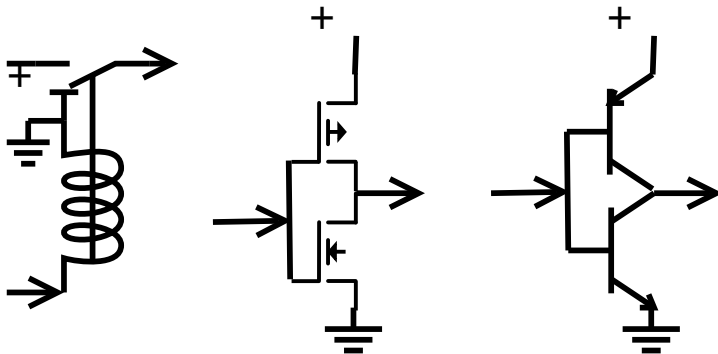
IEC / ГОСТ



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»

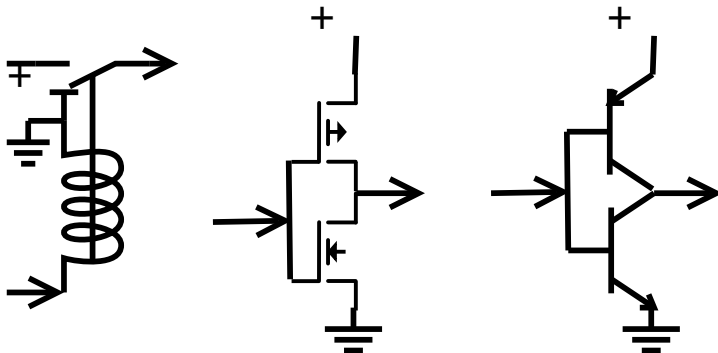


Реле и логика на основе КМОП и биполярных транзисторов

Симуляторы:

- МОП ТТЛ [↗](#)

Отрицание «с переключением»



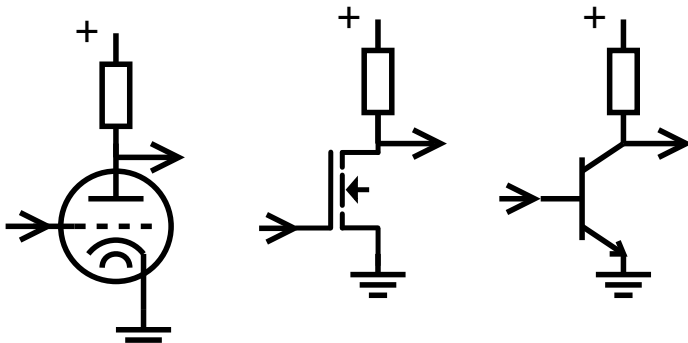
Реле и логика на основе КМОП и биполярных транзисторов

Симуляторы:

● [МОП ТТЛ](#)

А могут быть и более простые обозначения: [NOT](#) и [NOT](#)

Отрицание с согласующим резистором

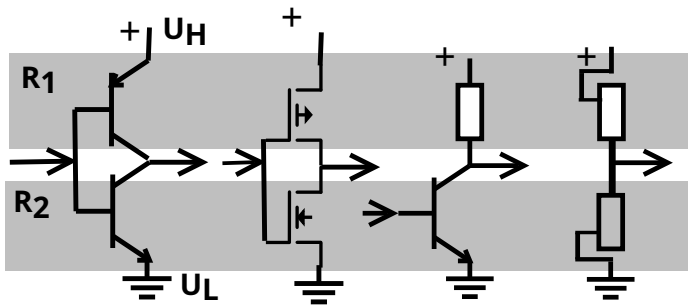


Триод и логика на основе резистора и транзистора

Симуляторы:

- Бип. РТЛ [↗](#)

Как оно работает? (I)



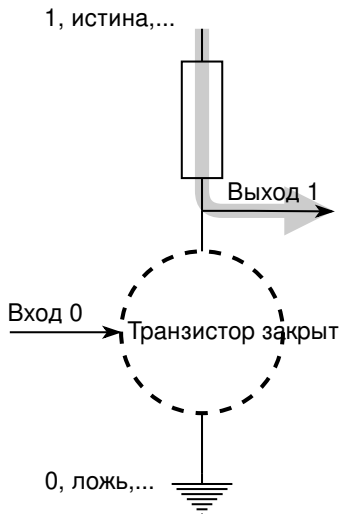
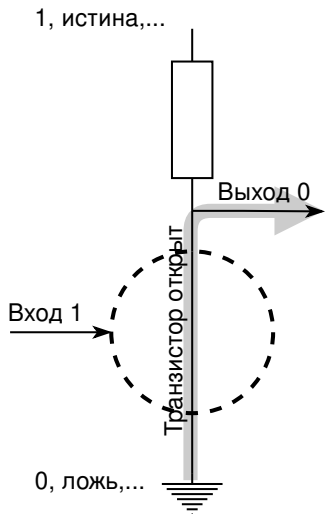
$I_{вх}$ и $I_{вых}$ малы $\Rightarrow I_{R1} \approx I_{R2}$. Также $\Delta U_{R1} / \Delta U_{R2} \approx R_1 / R_2$

Легко вывести:

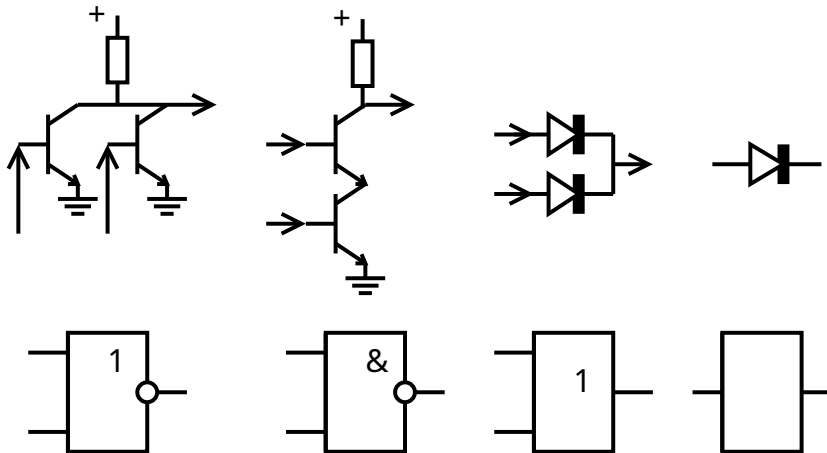
$$U_{вых} \approx \frac{U_H R_2 + U_L R_1}{R_1 + R_2}$$

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](#) ↗