

# Лекция 7

## Физические основы

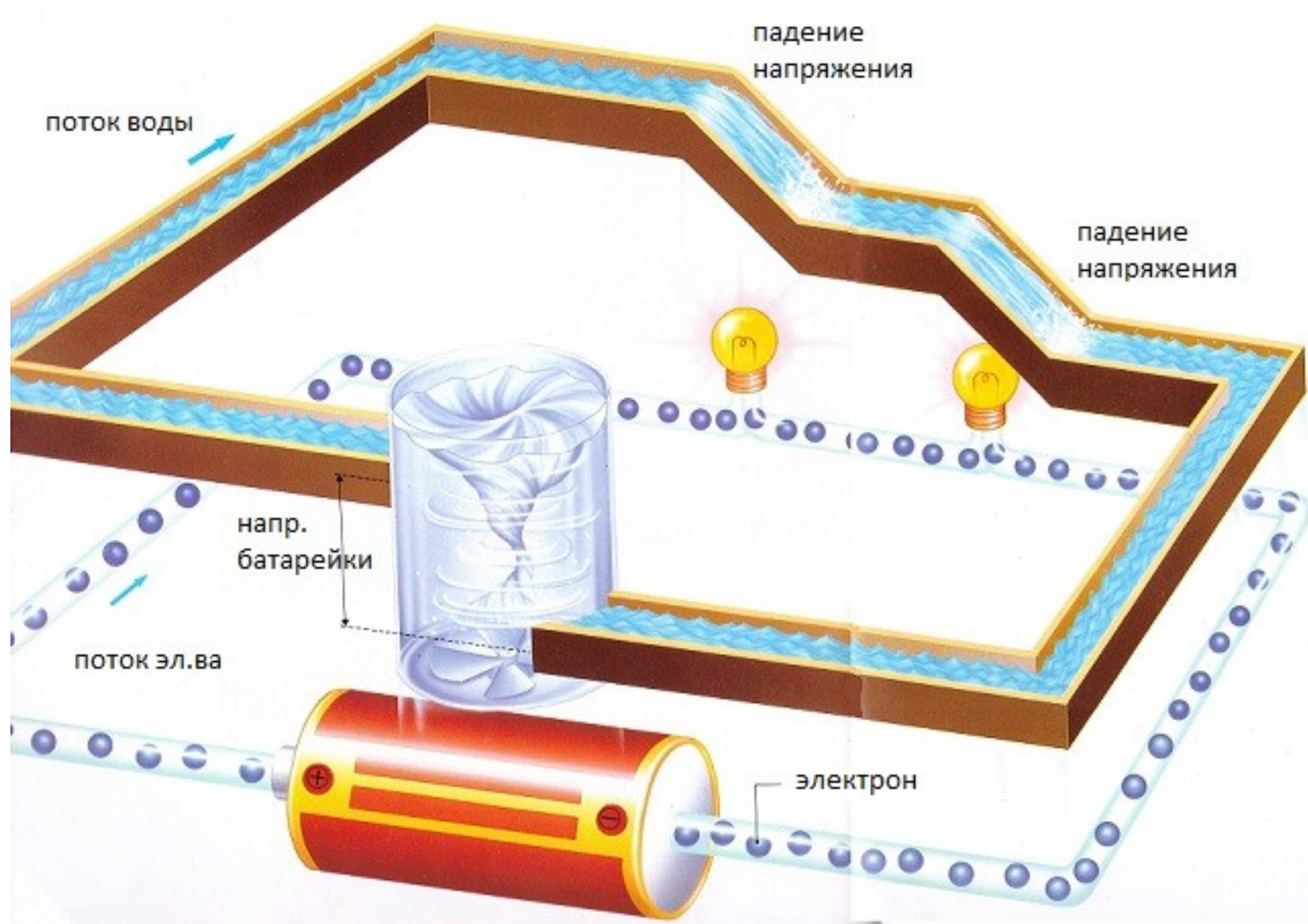
# Физические основы

- Электрический заряд – свойство тел быть источником электромагнитных полей и принимать участие в электромагнитном взаимодействии
  - Закон Кулона, закон Ампера, ...
- Заряд квантуется,  $e$  – элементарный электрический заряд, заряд электрона -  $-e$

# Электрический ток

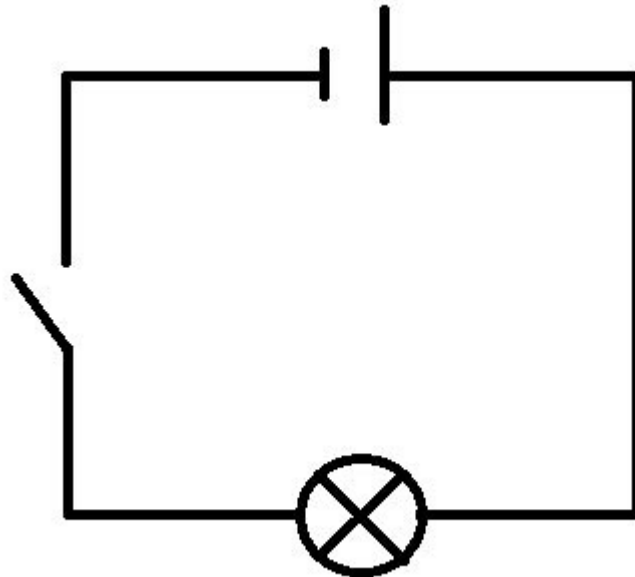
- Электрический ток
  - Протекание заряда через некоторое сечение за единицу времени
    - $I = dq/dt$
  - Единица измерения – ампер
- Напряжение (разность потенциалов)
  - $\Delta V$  или  $\Delta U$  – работа эффективного электрического поля по перемещению пробного заряда между двумя точками цепи
  - Единица измерения - вольт

# Гидродинамическая модель



# Электрическая цепь

- Совокупность элементов, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью силы тока  $I$  и напряжения  $V$
- В электрической цепи есть условный 0 (земля)

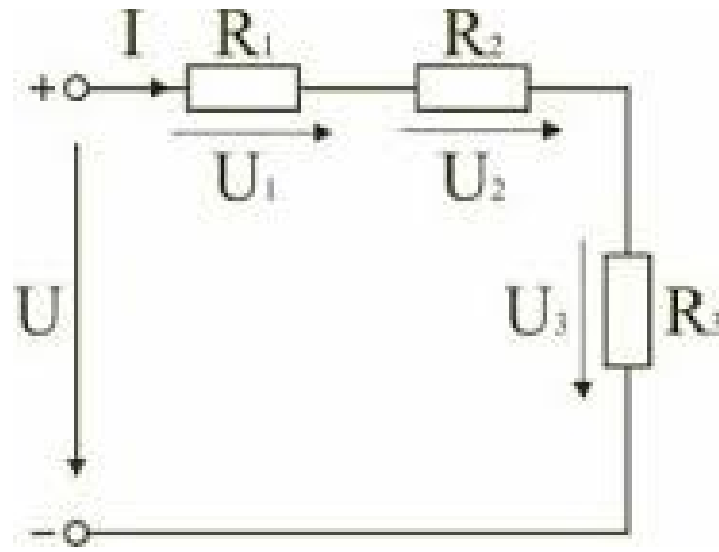


# Электрическая цепь

- Ток течет в направлении уменьшения потенциала (от + к -)
- Основные носители заряда (электроны) движутся в обратном направлении
- Линейная цепь – поведение описывается линейными дифференциальными уравнениями

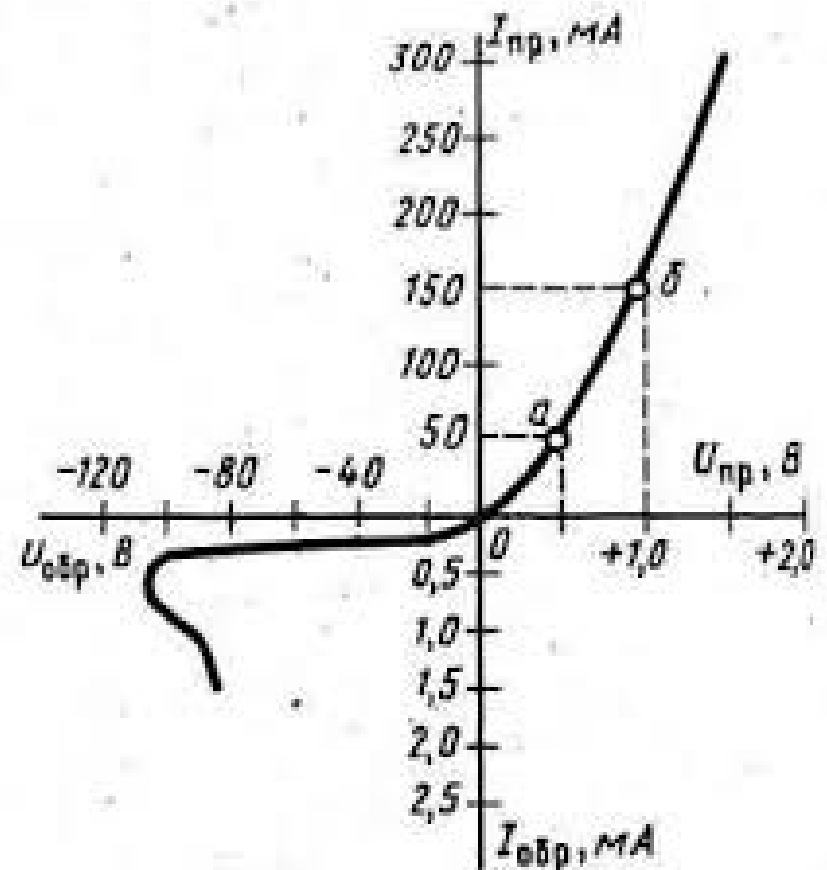
# Цепь постоянного тока

- В каждой точке цепи ток не меняется со временем
- Закон Ома:  $I = V/R$
- $R$  – (активное) сопротивление участка цепи – характеристика преобразования электрической энергии в тепловую
- $P = I * V = V^2 / R$



# Вольт-амперная характеристика

- Зависимость протекающего тока от приложенного напряжения
- Резистор – линейная ВАХ





# Цепь переменного тока

- Напряжение изменяется по закону:  
$$V = V_0 \sin \varphi$$
- Линейные элементы – резисторы, конденсаторы, индуктивности
- Закон Ома:  
$$I = V / R$$
- $I$ ,  $V$ ,  $R$  – комплексные числа
- Сопротивление  $R$  состоит из двух компонент: активной и реактивной

# Цепь переменного тока

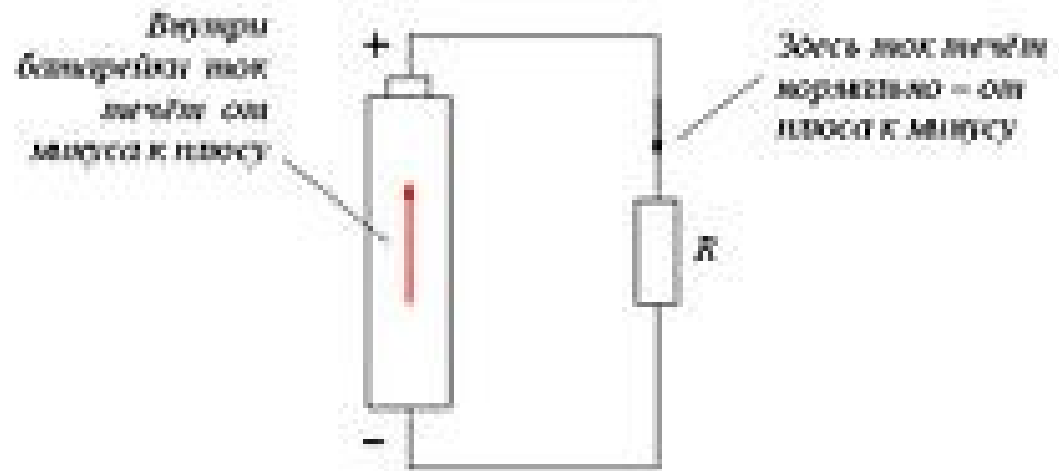
- Емкость  $C$  – свойство элемента цепи накапливать заряд
- Элемент цепи – конденсатор
- Реактивное сопротивление:  $1/\omega C$
- Индуктивность  $L$  – свойство элемента цепи породить магнитное поле
- Элемент цепи – катушка индуктивности
- Реактивное сопротивление:  $\omega L$

# Цифровая электроника

- Напряжение передает сигнал
  - 5V TTL Logic:
    - 0 – 0.8V - “Low” (logical 0)
    - 2.0 – 5.0 - “High” (logical 1)
- Логические элементы должны обладать
  - Малым “выходным” сопротивлением (чтобы падение напряжения не искажало сигнал)
  - Большим “входным” сопротивлением (чтобы тек маленький ток)
- Выходы могут переключаться в режим “высокоимпедансного состояния” - как бы отключаются от цепи
- Ток течет при переключении состояния

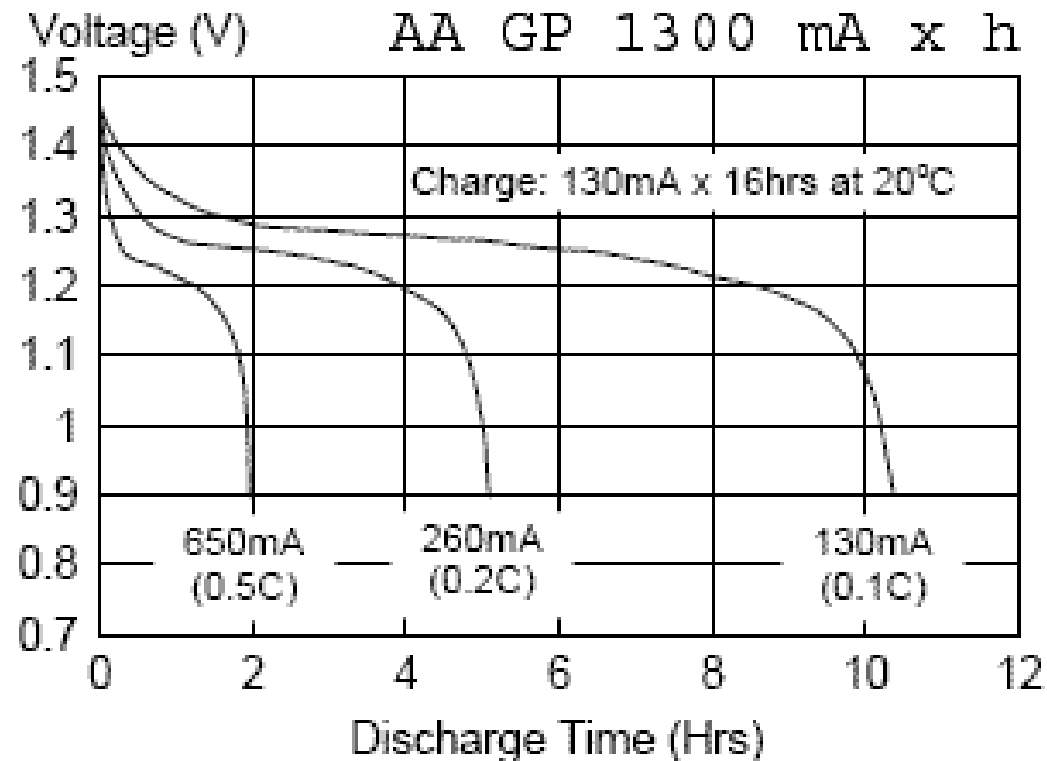
# Электропитание

- Электрическая сеть
- Топливные элементы
- Аккумуляторы



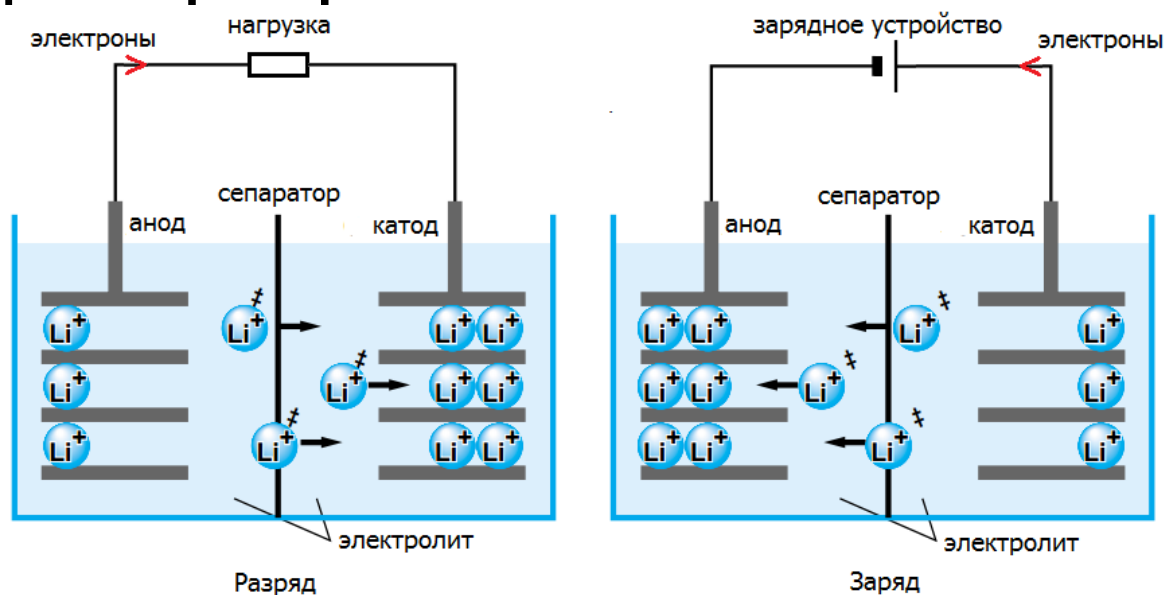
# Емкость аккумуляторов

- Измеряется в ампер-часах или  $\text{mA} \cdot \text{ч}$
- Например, 2000 mAh означает, что аккумулятор способен выдать ток 2A в течении одного часа
- На самом деле:  
нелинейная  
зависимость  
от нагрузки



# Li-ion аккумуляторы

- Батареи состоят из нескольких ячеек
- Телефоны и другая мобильная электроника – одна ячейка
- Потенциал заряженной ячейки – 4.3V
- Потенциал разряженной ячейки – 2.5 - 3V



# Материалы

- Анод (+) - графит
- Катод (-) - металл, нестабильный при высоком заряде (высокая степень окисления)
- Электролит – органический растворитель с ионами Li
- Все материалы - горючи

# Безопасность

- При перегреве – разлагается электролит, “вспухание”
- При перезаряде – крайне неустойчивый катод – тепловой разгон
- При переразряде – распад электролита
- При КЗ – тепловой разгон
- **Крайне важно поддерживать правильный режим зарядки и разрядки аккумулятора**



# Управляющий контроллер

- Каждый аккумулятор содержит управляющий программируемый микроконтроллер (~32 KiB Program ROM, ~4KiB RAM, ~4KiB Flash ROM)
- Ошибка в программе микроконтроллера может приводить к критическим последствиям

# Прогресс в технологиях

- 20 лет назад емкость катода - 100-120 мАч/г
- сейчас используется катод с 160-180 мАч/г
- 
- За 20 лет “плотность” аккумуляирования энергии увеличилась на 60%

# Это э...

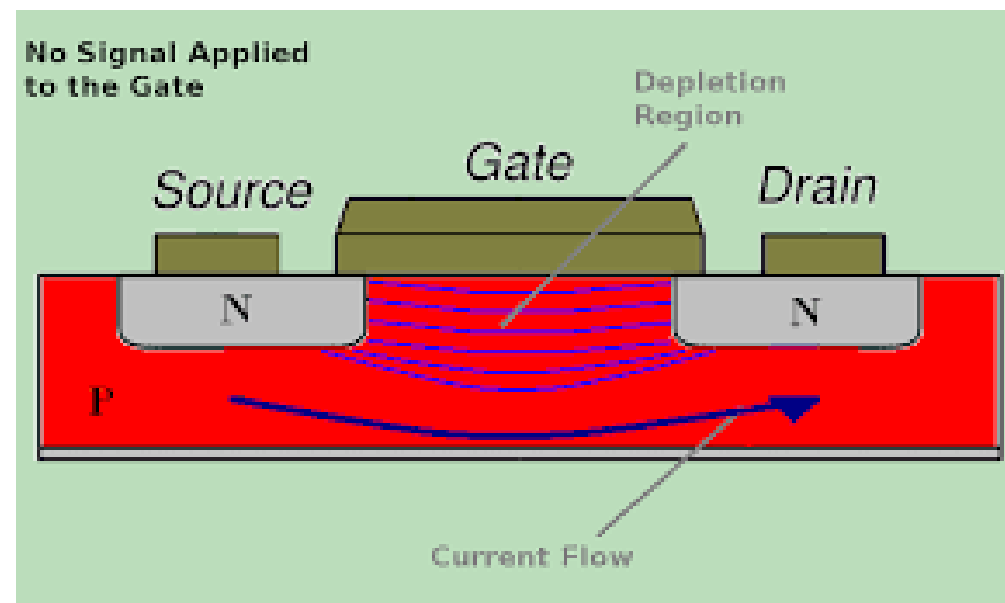
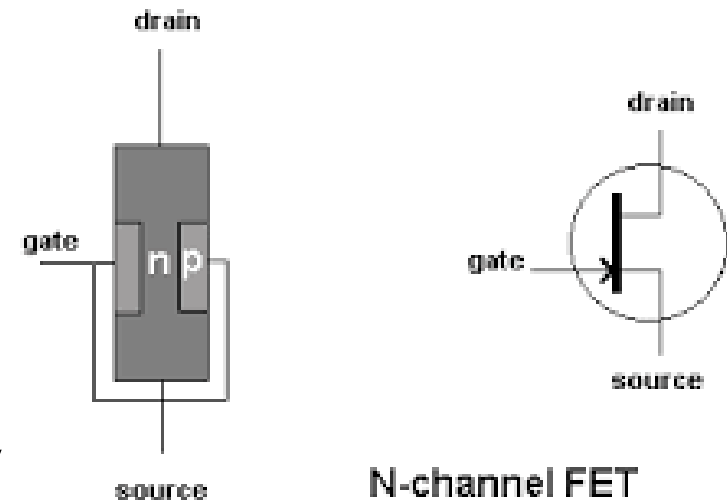


# Транзистор

- Первый транзистор — 1947 (Бардин, Бреттейн, Шокли)
- Нобелевская премия по физике 1956 г
- Одно из важнейших изобретений 20 века
- Типы транзисторов:
  - Биполярный (bipolar junction transistor — BJT)
  - Полевой (Field-effect transistor — FET)

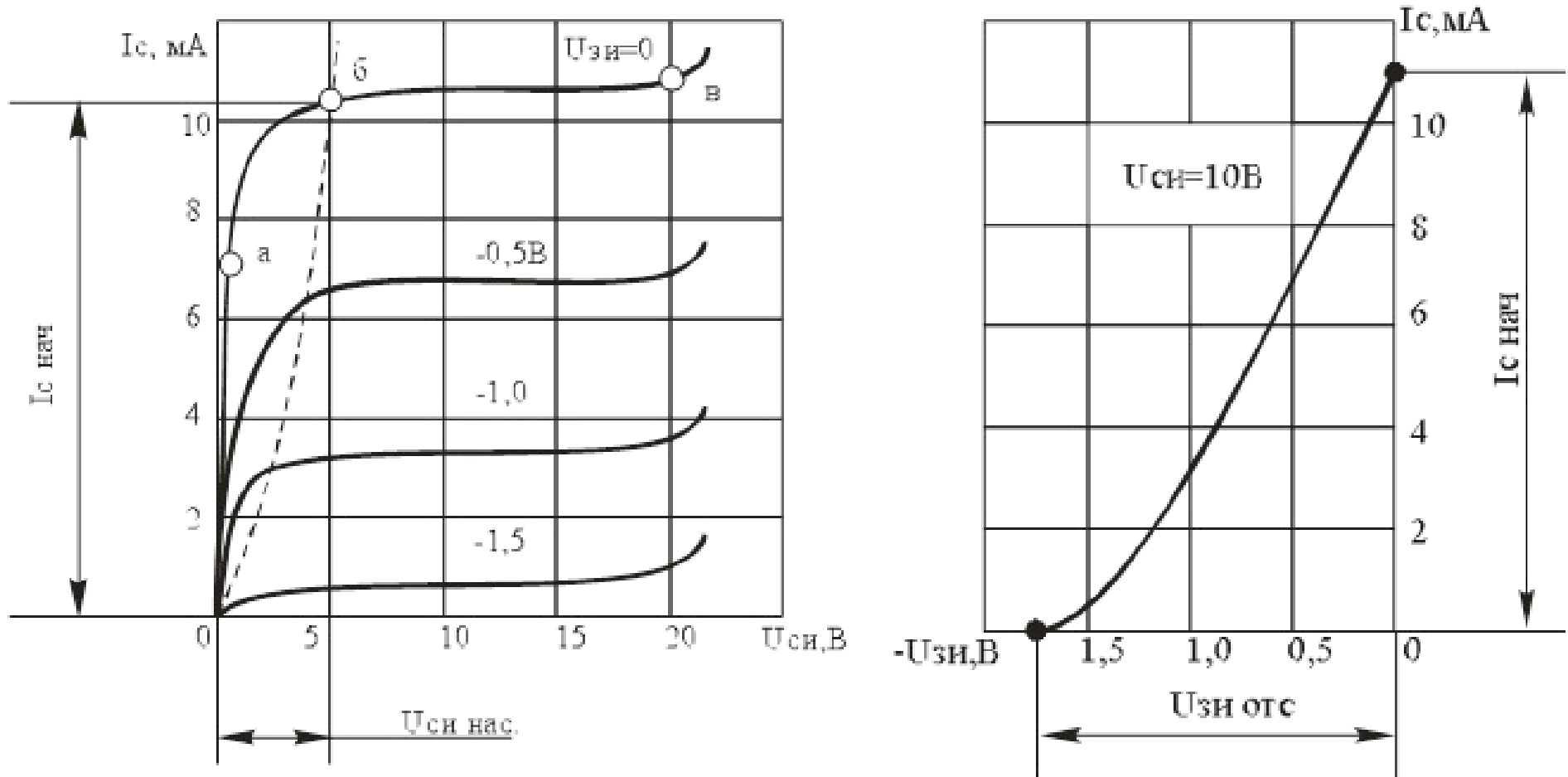
# Полевой транзистор

- Затвор - «кран»
- Исток -> Сток
- N — электроны перемещаются навстречу току
- Затвор изолирован (ток не течет через затвор)



# Полевой транзистор

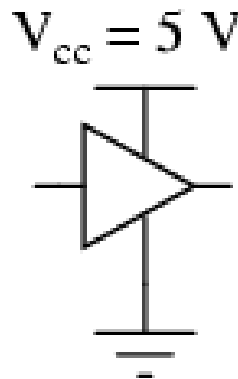
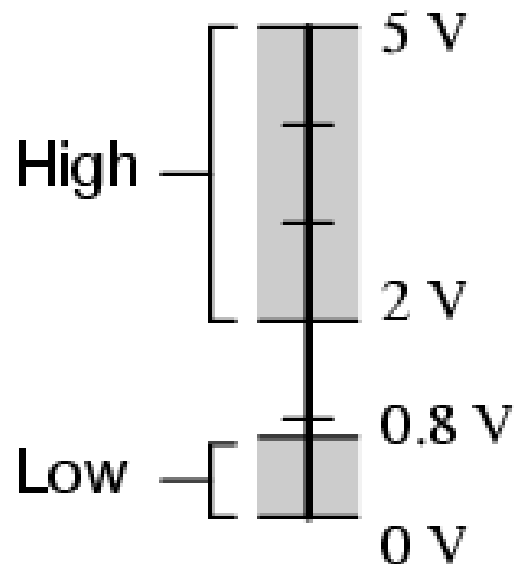
- Слева — ВАХ исток-сток при фикс. напряжении затвор-исток



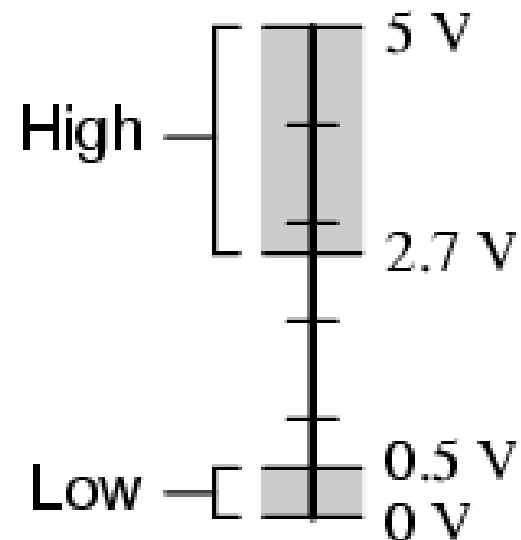
# Передача сигнала

- В цифровой электронике сигнал передается изменением напряжения. Два уровня напряжения:  $V_0$  и  $V_1$ .

- Acceptable TTL gate input signal levels*

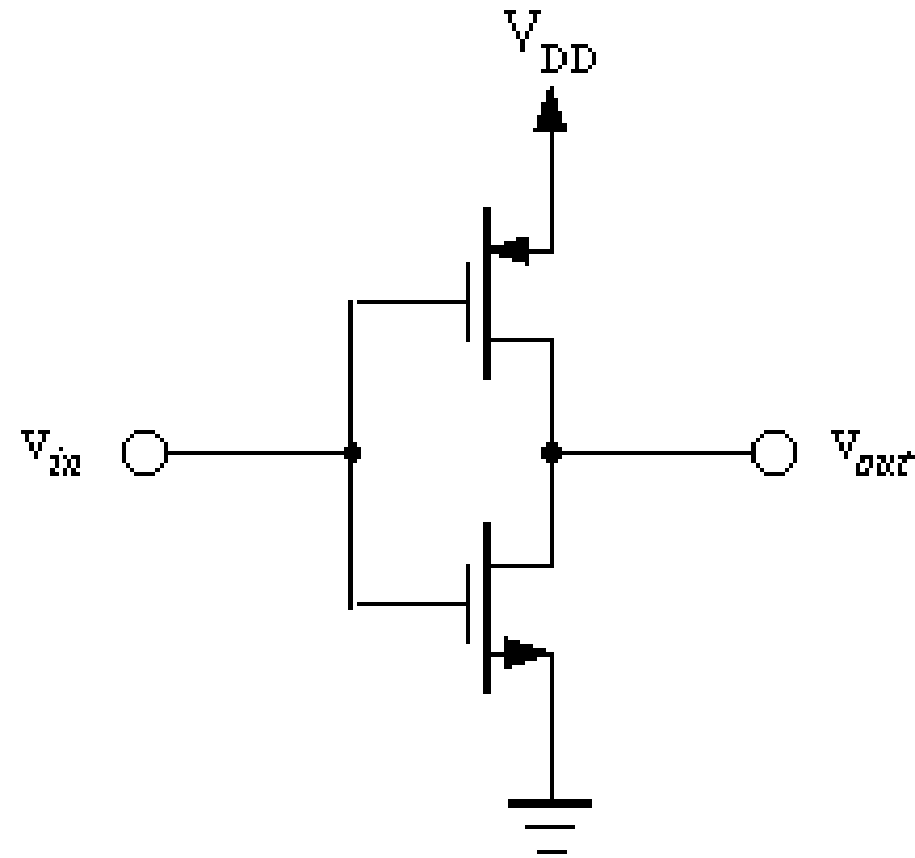


- Acceptable TTL gate output signal levels*



# Цифровая схема

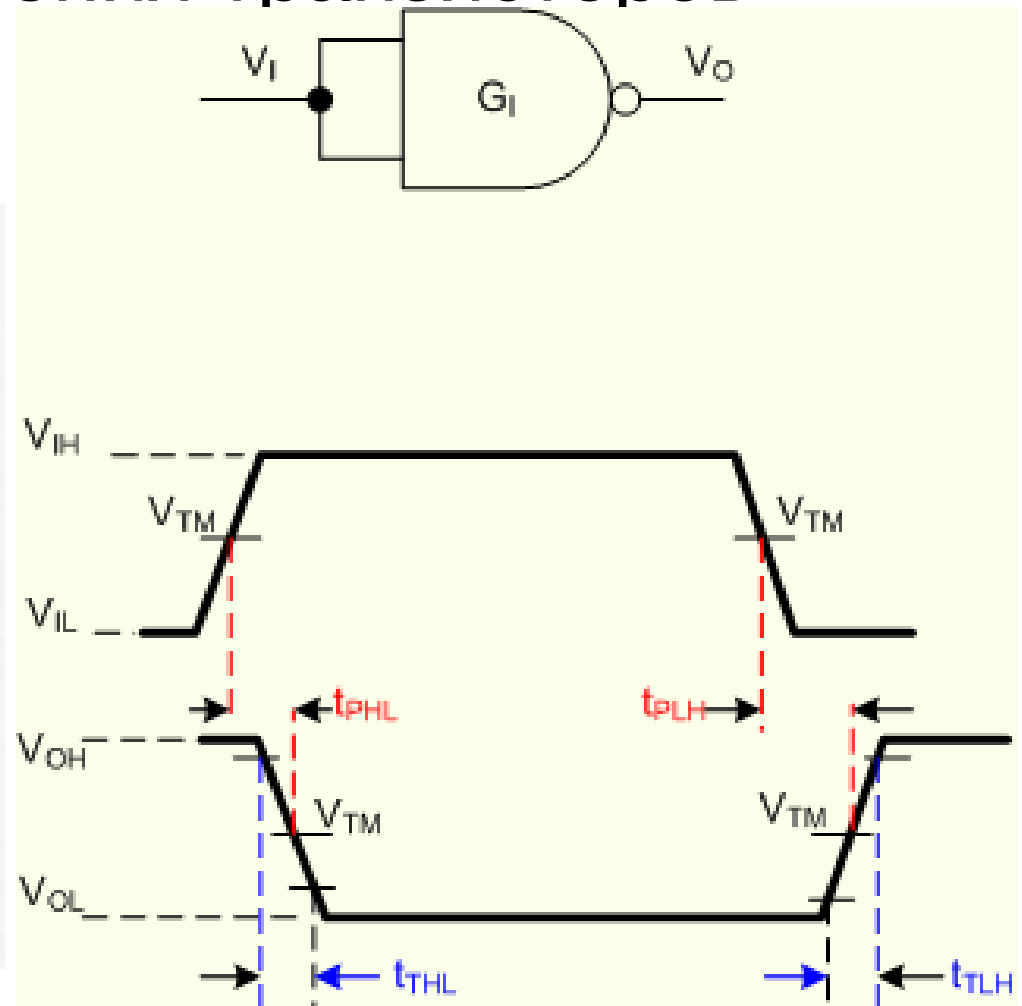
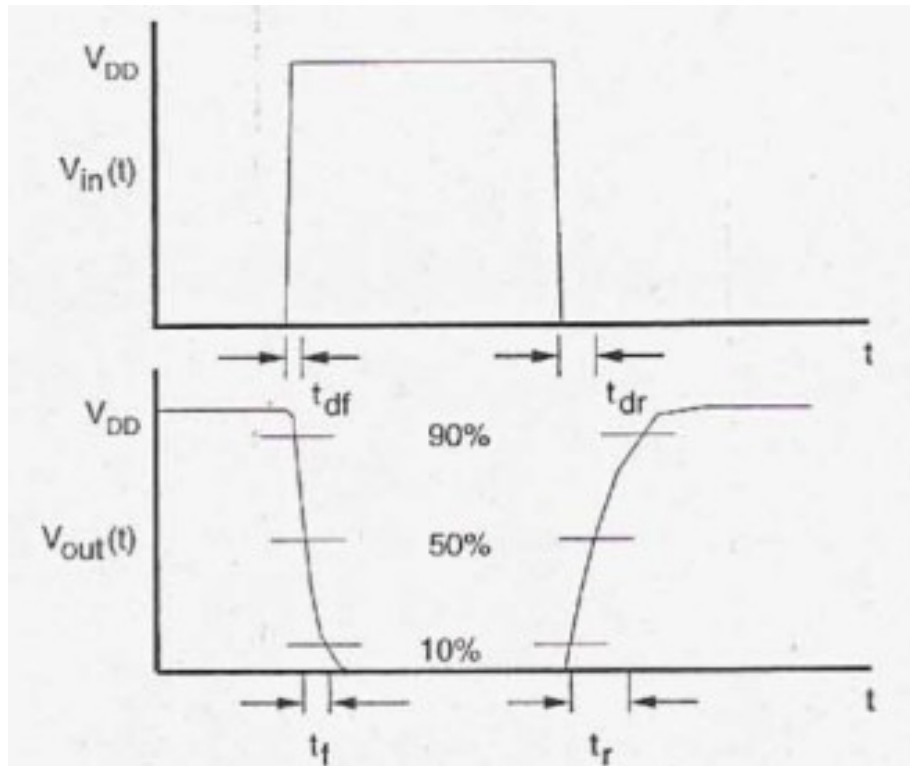
- Шина питания ( $V_{CC}$ ) (5V, 3.3V, ...)
- Земля (GND, 0V)
- Входы
- Выходы
- Пример - инвертор





# Задержка распространения (propagation delay)

- Скорость передачи ЭМ сигнала в носителе
- Скорость переключения транзисторов



# Характеристики инвертера

- $T_f$  — время падения напряжения на выходе от «1» до «0»:
  - $T_f \sim k_1 \cdot C / V$
- Рассеиваемая мощность:
  - $W \sim k_2 \cdot C \cdot V^2 \cdot f$

