

# Lecture 1

## Platform 0: wires and switches

Computing platforms, semester 2

Novosibirsk State University  
University of Hertfordshire

D. Irtegov, A.Shafarenko

2019

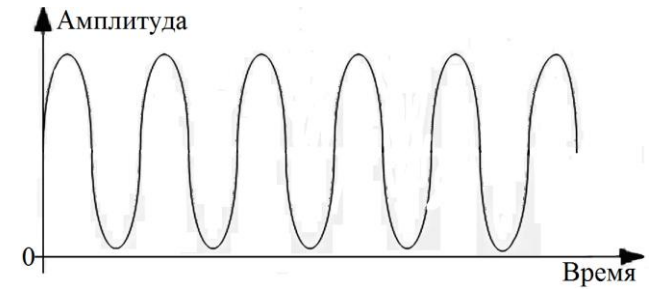
# Base of all digital platforms

- Discrete signals
  - Mechanical
  - Electrical
  - Optical
  - Chemical
  - etc
- Switches (devices that give discrete reactions to signals)
  - Depend on the nature of the signal
  - Humans achieved best results building electrical (electronic) switches, so we concentrate on them

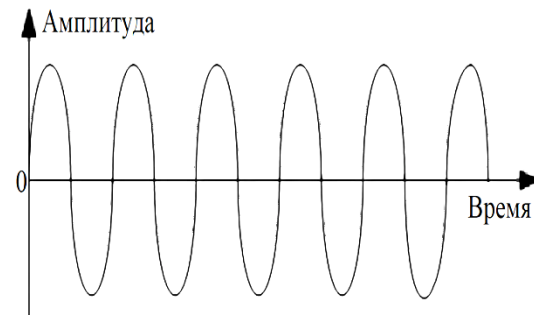
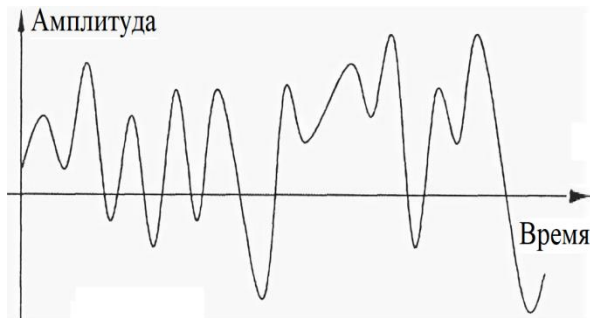
# Основные понятия

- **Сигнал** — это любая физическая величина (например, температура, давление воздуха, интенсивность света, сила тока и т. д.), изменяющаяся со временем. Именно благодаря этому изменению сигнал может нести в себе какую-то информацию.
- **Электрический сигнал** — это электрическая величина (например, напряжение, ток, мощность), изменяющаяся со временем. Вся электроника в основном работает с электрическими сигналами, хотя сейчас все больше используются световые сигналы, которые представляют собой изменяющуюся во времени интенсивность света.

# Основные понятия

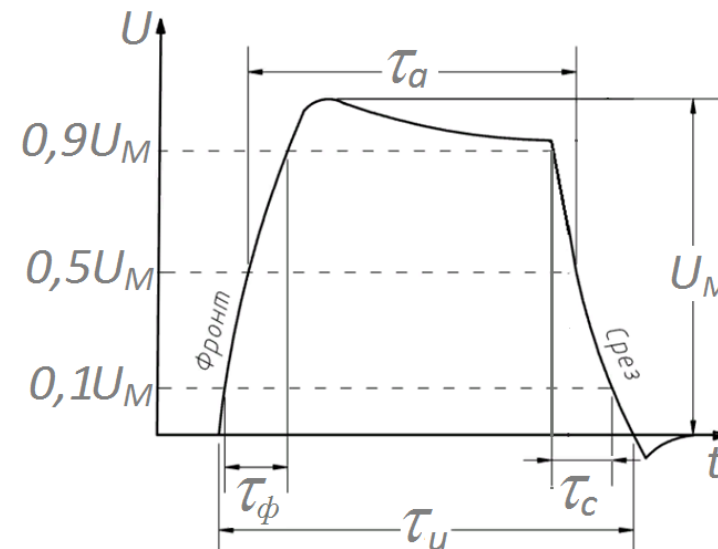
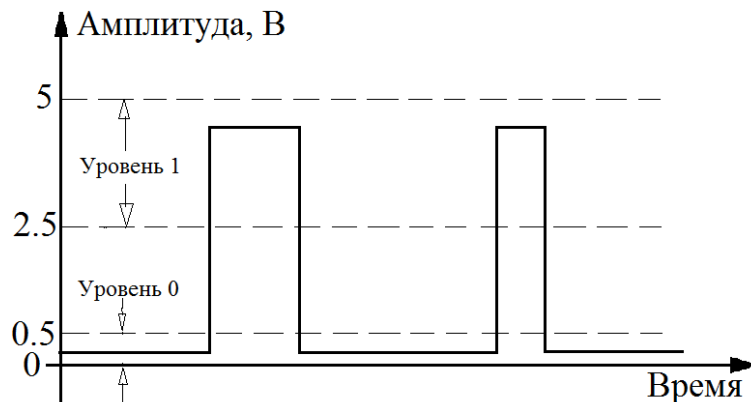


- **Аналоговый сигнал** — это сигнал, который может принимать любые значения в определенных пределах (например, напряжение может плавно изменяться в пределах от нуля до десяти вольт) (рис.1.1). Устройства, работающие только с аналоговыми сигналами, называются аналоговыми устройствами. Название «аналоговый» подразумевает, что сигнал изменяется аналогично физической величине, то есть непрерывно.

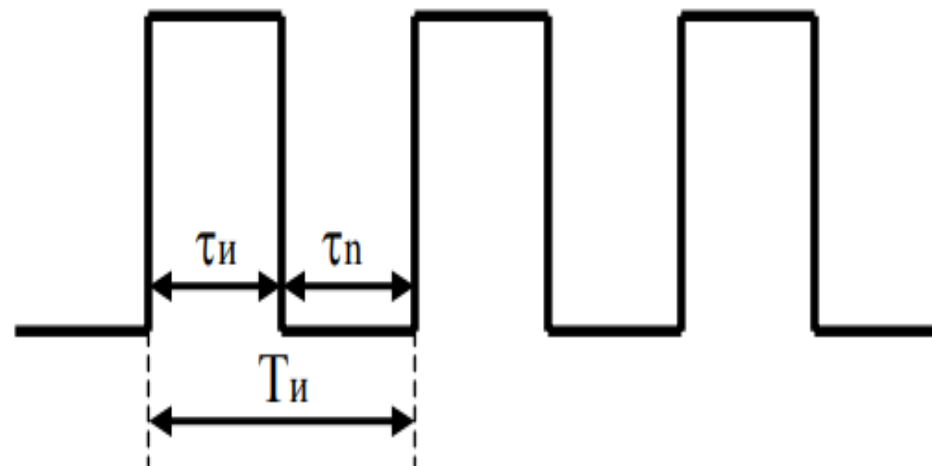
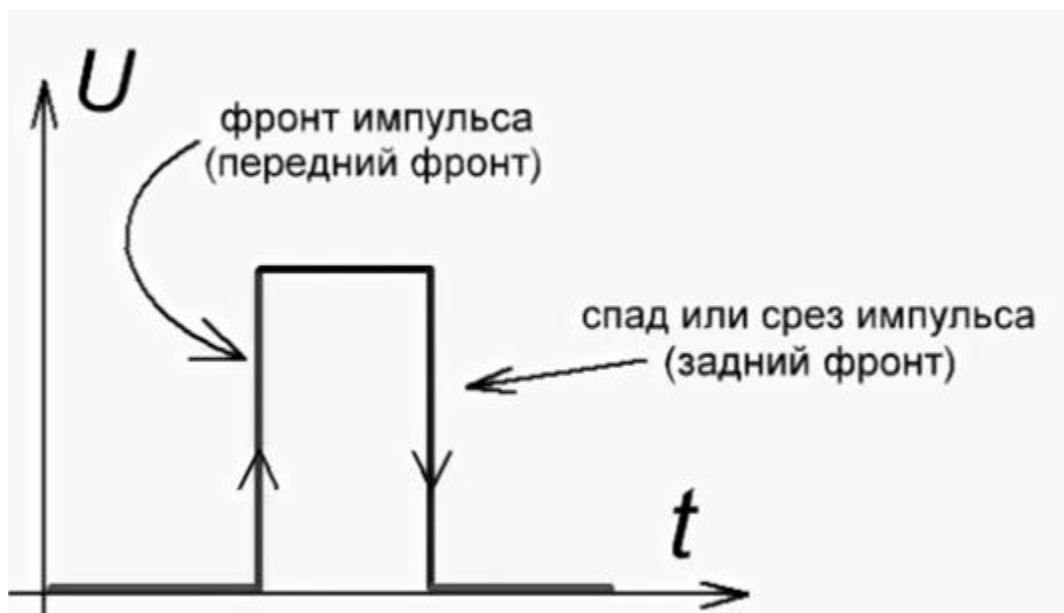


# Основные понятия

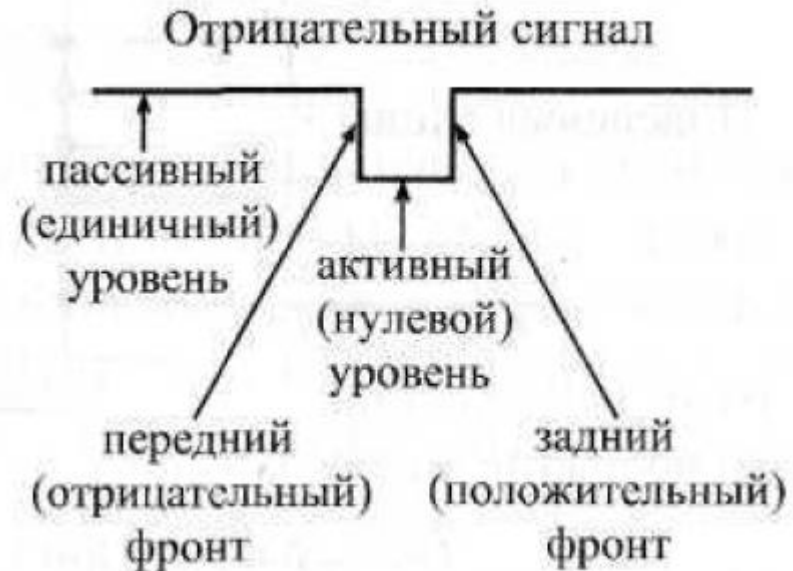
- **Цифровой сигнал** — это сигнал, который может принимать только два (иногда — три) значения, причем разрешены некоторые отклонения от этих значений (рис.1.2). Например, напряжение может принимать два значения: от 0 до 0,5 В (уровень нуля) или от 2,5 до 5 В (уровень единицы). Устройства, работающие исключительно с цифровыми сигналами, называются цифровыми устройствами.



# Основные понятия



# Основные понятия и обозначения в цифровой схемотехнике

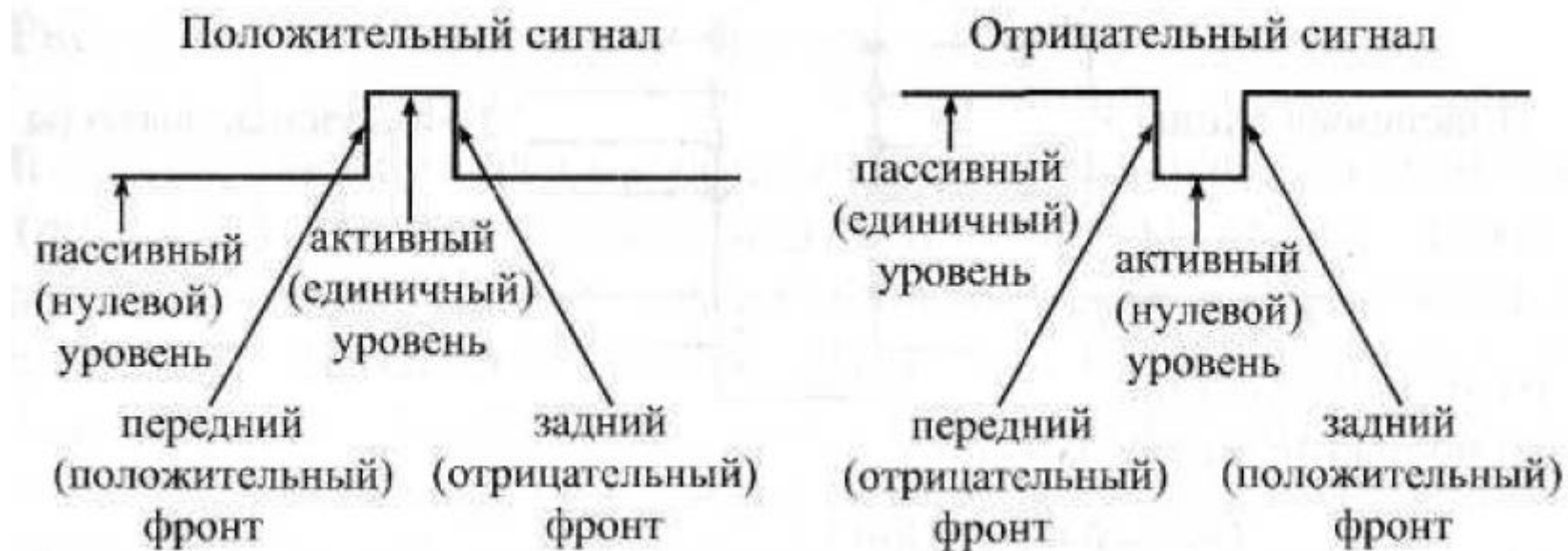


# Основные понятия и обозначения в цифровой схемотехнике

- **Положительный сигнал** (сигнал положительной полярности) — это сигнал, активный уровень которого — логическая единица. То есть ноль - это отсутствие сигнала, единица — сигнал пришел
- **Отрицательный сигнал** (сигнал отрицательной полярности) — это сигнал, активный уровень которого — логический ноль. То есть единица — это отсутствие сигнала, ноль — сигнал пришел
- **Активный уровень сигнала** — это уровень, соответствующий приходу сигнала, то есть выполнению этим сигналом соответствующей ему функции.
- **Пассивный уровень сигнала** — это уровень, в котором сигнал не выполняет никакой функции.

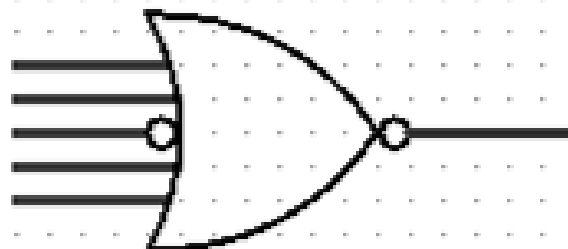
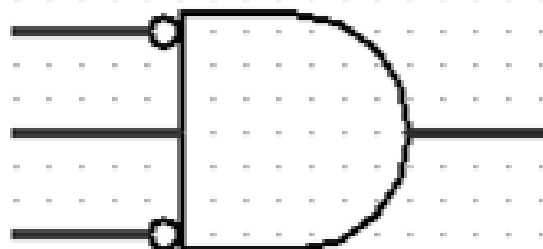
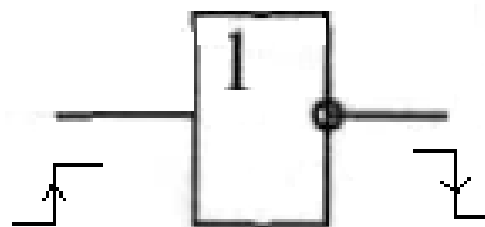
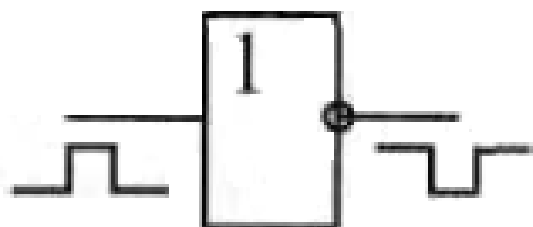


# Основные понятия и обозначения в цифровой схемотехнике



# Основные понятия и обозначения в цифровой схемотехнике

- **Инвертирование или инверсия сигнала** — это изменение его полярности.
- **Инверсный выход** — это выход, выдающий сигнал инверсной полярности по сравнению с входным сигналом.
- **Прямой выход** — это выход, выдающий сигнал такой же полярности, какую имеет входной сигнал.
- **Положительный фронт сигнала** - это переход сигнала из нуля в единицу.
- **Отрицательный фронт сигнала (спад)** — это переход сигнала из единицы в ноль.



# Основные понятия и обозначения в цифровой схемотехнике

- **Передний фронт сигнала** — это переход сигнала из пассивного уровня в активный.
- **Задний фронт сигнала** — это переход сигнала из активного уровня в пассивный.
- **Тактовый сигнал** (или строб) — управляющий сигнал, который определяет момент выполнения элементом или узлом его функции.
- **Шина** — группа сигналов, объединенных по какому-то принципу, например, шиной называют сигналы, соответствующие всем разрядам какого-то двоичного кода.

# Mechanical switches

- Known from prehistoric times (e.q. animal traps)
- Were used to build pretty complex mechanical automata





# Interesting mechanical discrete devices

- Jacquard loom (1804)
- A programmable loom that can be used to weave fabric with pictures (carpets, tapestry, brocade)



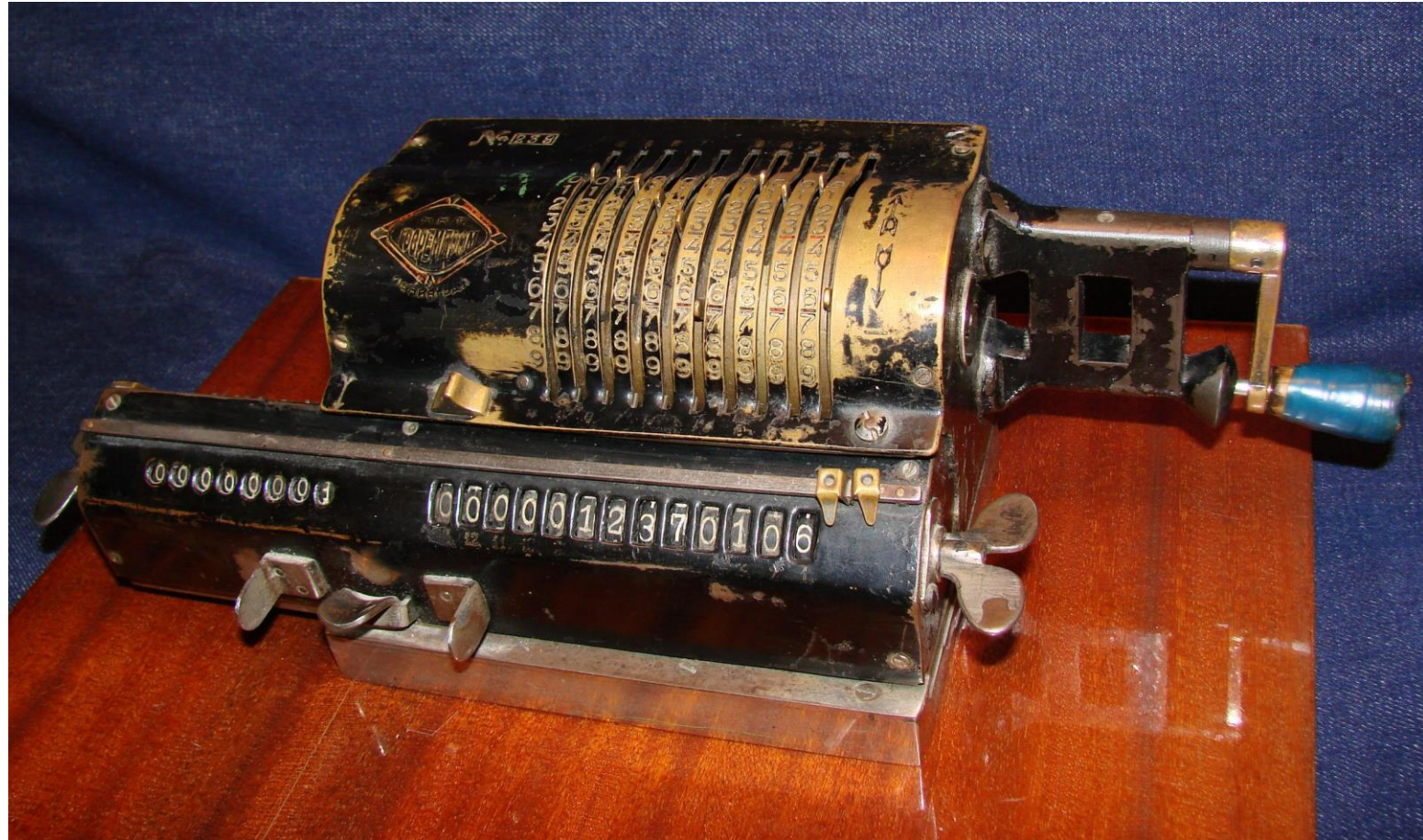
Medieval Chinese  
brocade  
(manually woven)



Punch card  
program  
for Jacquard loom



# Mechanical arithmometers

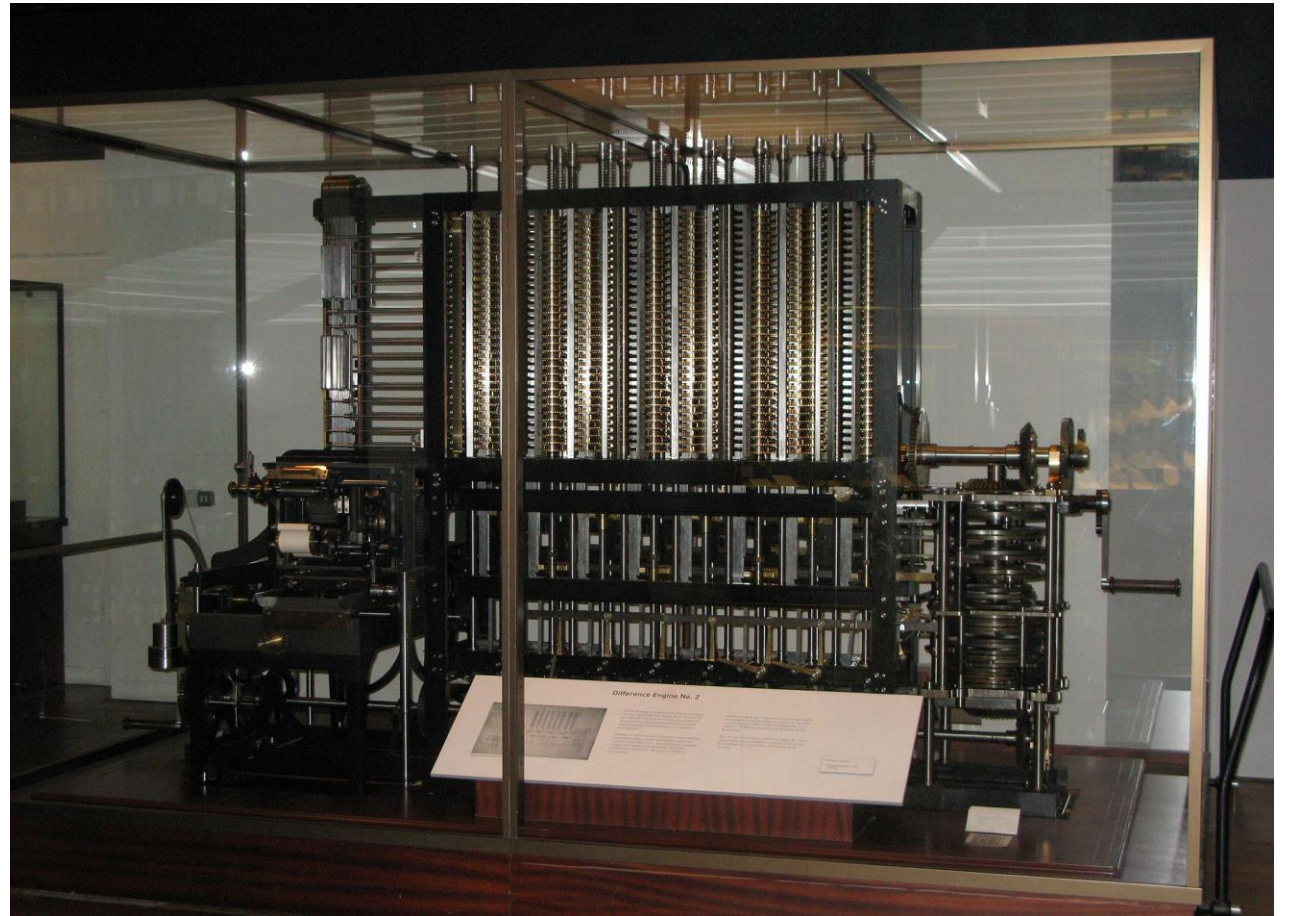


# Babbage Difference engine

Mechanical device used to calculate polynomial functions  
Built by Charles Babbage in 1819-1822

Successor, the Analytical engine, was designed as a punch-card programmable universal computer

Never built, but inspired Zuze Z1 and Harvard Mark I/II in next century





# Electromechanical devices

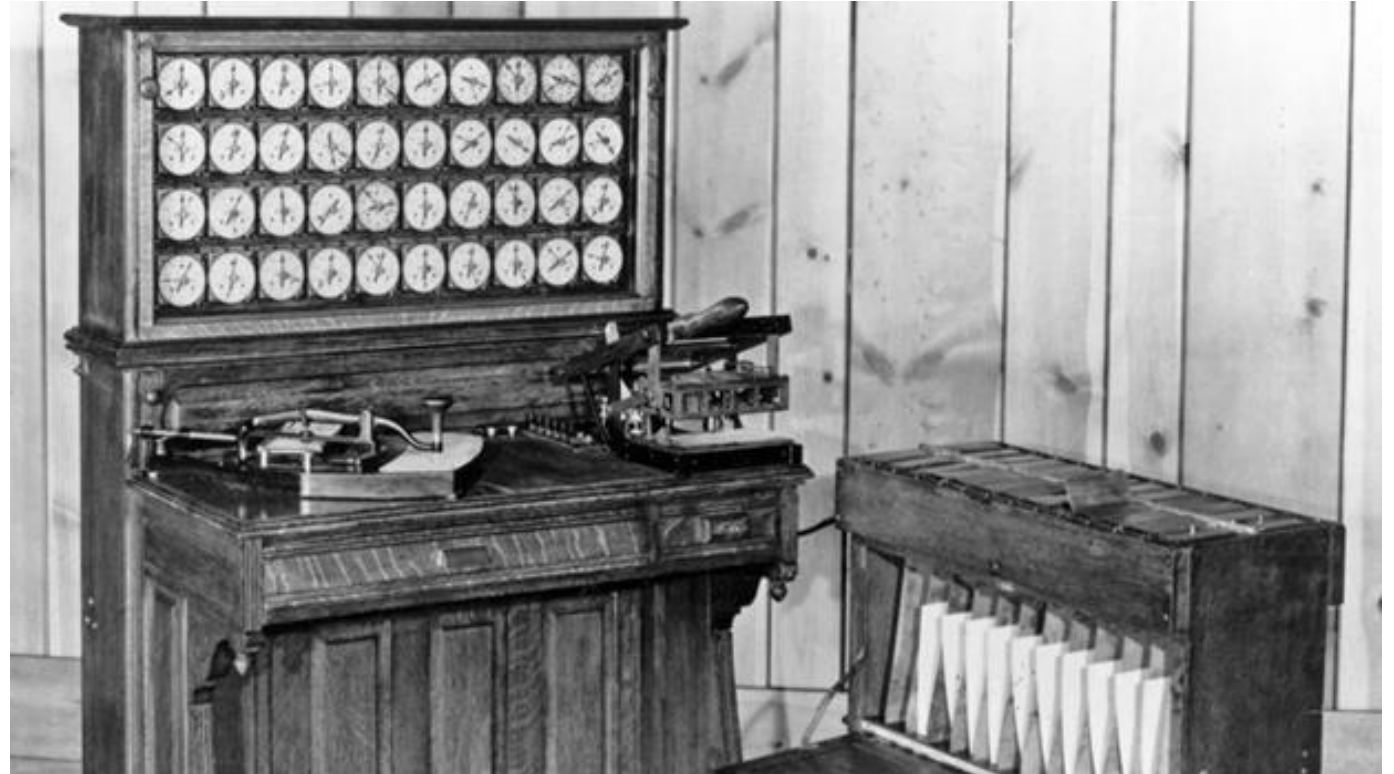
Hollerith census tabulator

Device to calculate statistical functions using raw data on punch cards

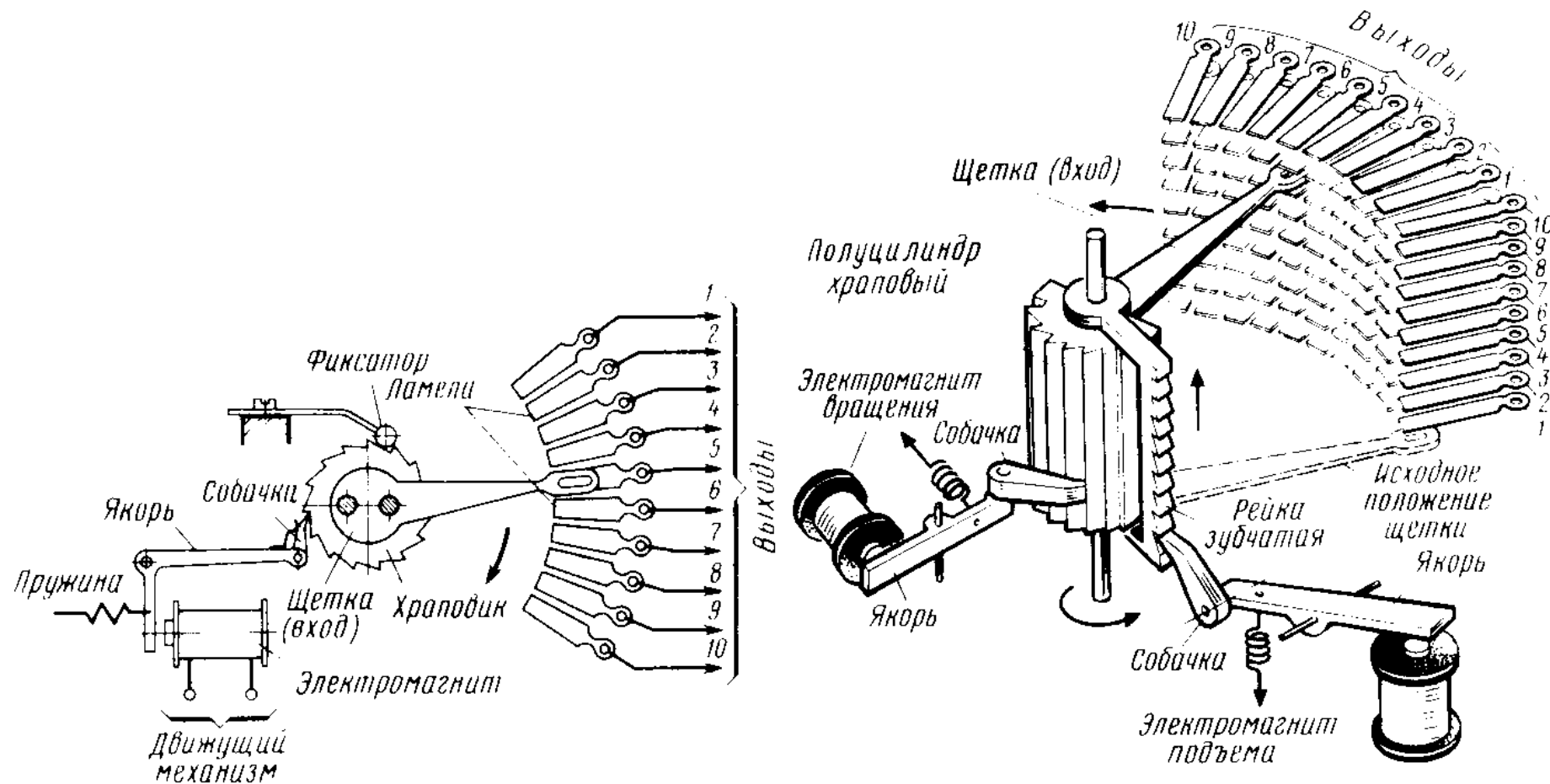
First used to process data of 1880 US population census

Hollerith company now is known as IBM

Later, more sophisticated programmable tabulators were built



# Automatic telephone exchange (single node)



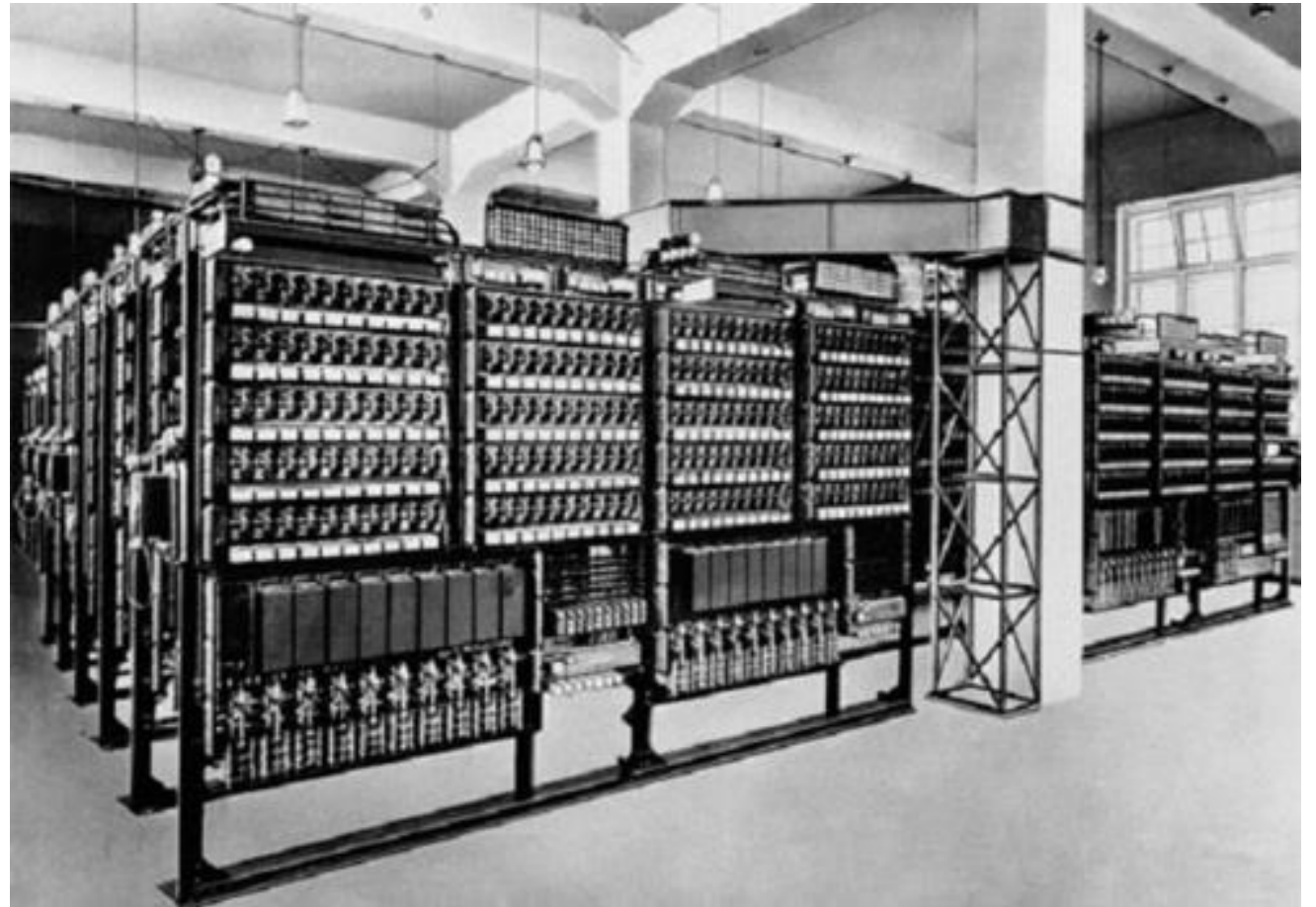
# Automated telephone exchange (whole machine)

Devices like this were used  
to route phone calls through  
most of XX century

First machines of this kind  
appeared in 1920s

Last units in Russia went out  
of service in 2010s

<https://www.ridus.ru/news/16079>



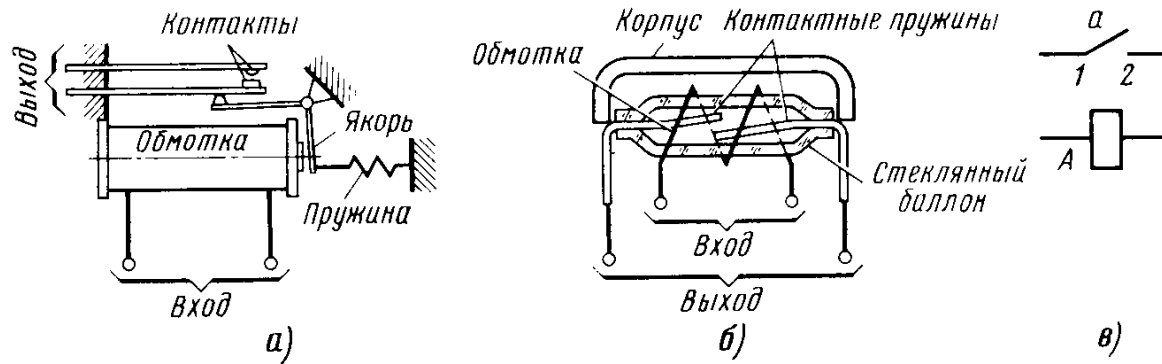
# First successful programmable computer

- IBM ASSC aka Harvard Mark I. Delivered to Harvard in 1941

Built using electromechanical switches (relays)

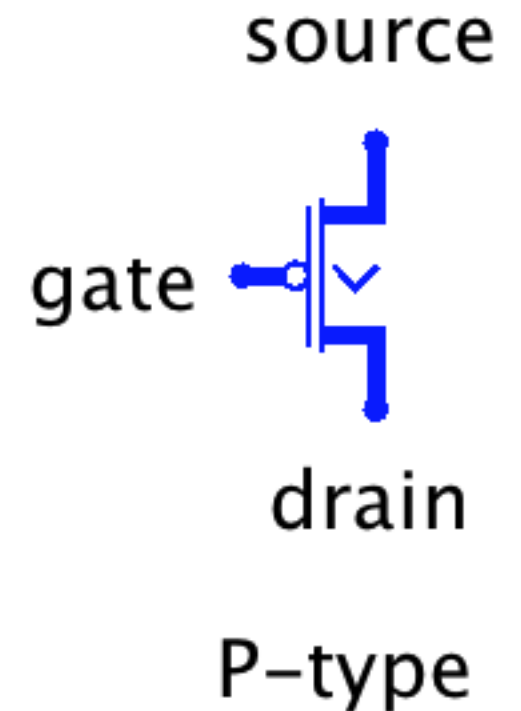
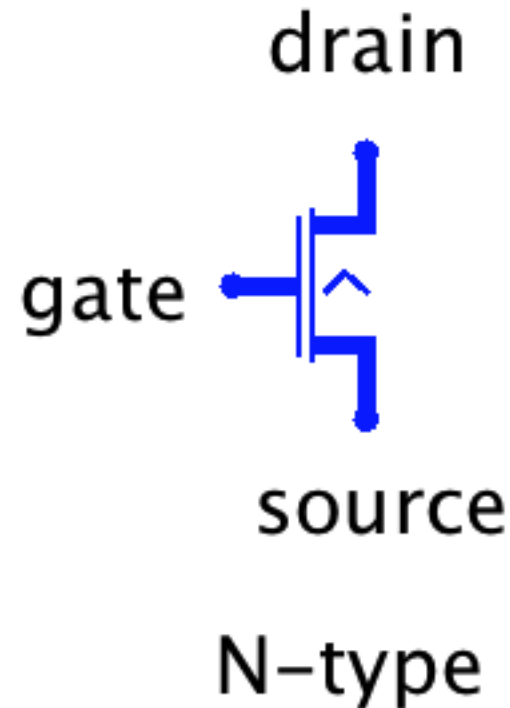
Used punched cards for input/output

And punched paper tape for program



# Modern electronic switches

- The field effect transistor
- A semiconductor device
- Pretty interesting physics
- Bardeen, Brattain, and Shockley got a Nobel prize for inventing it
- Actually, it is an amplifier
- The higher a gate voltage the stronger current can pass between source and drain



# Why transistors?

- First fully-electronic computer was build using vacuum tubes, but they proved expensive and unreliable
- We learned to make transistors cheap, so we can economically build devices containing millions and billions of them
- We learned to make transistors reliable, so the devices with billions of them can work for years 24/7/365
- We learned to make them small, so you can carry a device with billions of transistors in your pocket
- We learned to make them fast, doing billions of switch operations per second (1GHz is a billion oscillations per second)
- THz Ga-As transistors are available, but we cannot make them cheap and small.

# More on transistors

- In digital circuits, transistors are used as binary switches
- One voltage opens the transistor fully (its effective resistance close to zero)
- Other voltage fully closes the transistor (effective resistance close to infinity)
- In N-type, high voltage opens and low voltage closes
- In P-type, low voltage opens and high closes
- In modern CMOS devices, N and P transistors are used in pairs (thus the word Complementary in CMOS)

# Transistors are imperfect

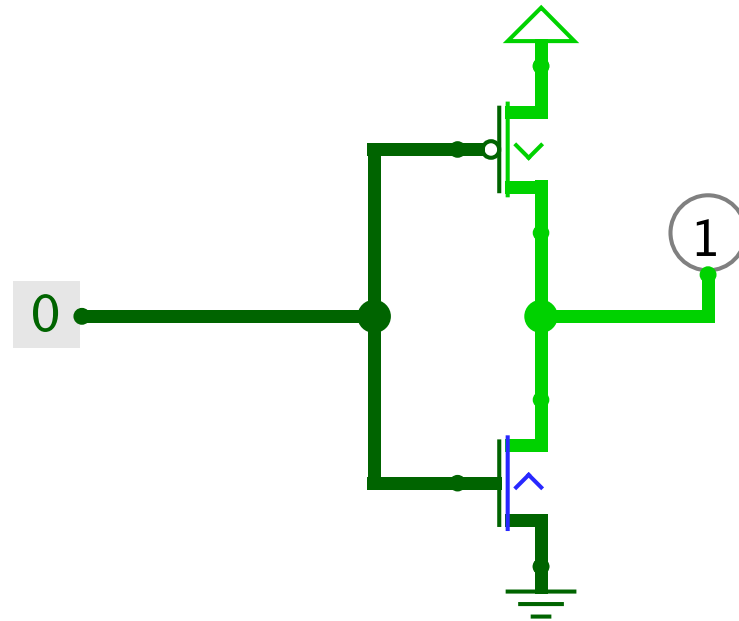
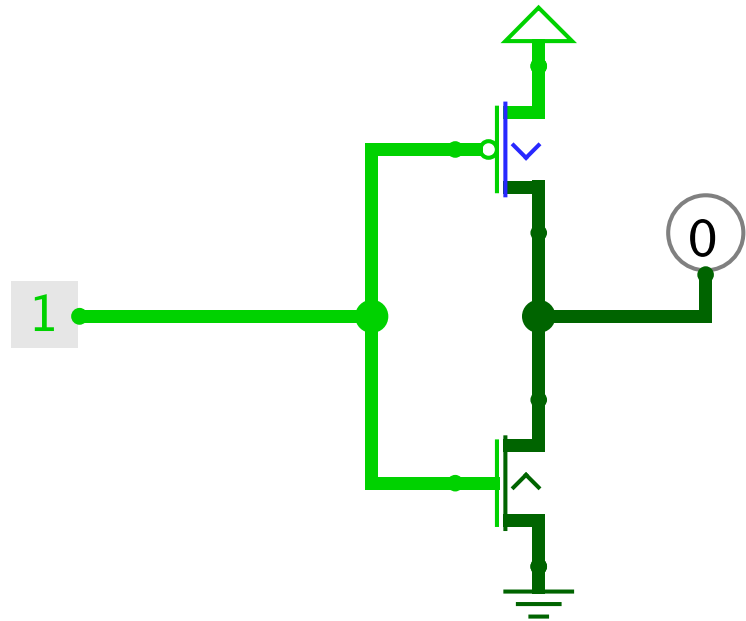
- Real transistors do not react immediately on gate voltage
- Transistors consume current on the gate, so you cannot feed too many gates from single source.
- Resistance of open transistor is not zero, and resistance of closed one is not infinity
- Signal propagates through the wire not instantly. Actually, even on MHz frequencies, a wire works as a waveguide.
- We won't go deep into this in our course
- However, if you will build complex real devices, like 32-bit CPU, you will have to deal with all this



# Building digital device with transistors

- The device uses two voltage levels
  - $V_{dd}$  (above transistor drain), aka PWR aka logical 1
  - $V_{ss}$  (below transistor source), aka GND aka logical 0
- Theoretically, we can inverse the terminology and consider a high voltage 0 and low voltage 1. We would need to replace all N-transistors with P- and vice versa

# NOT gate (logical inverter)



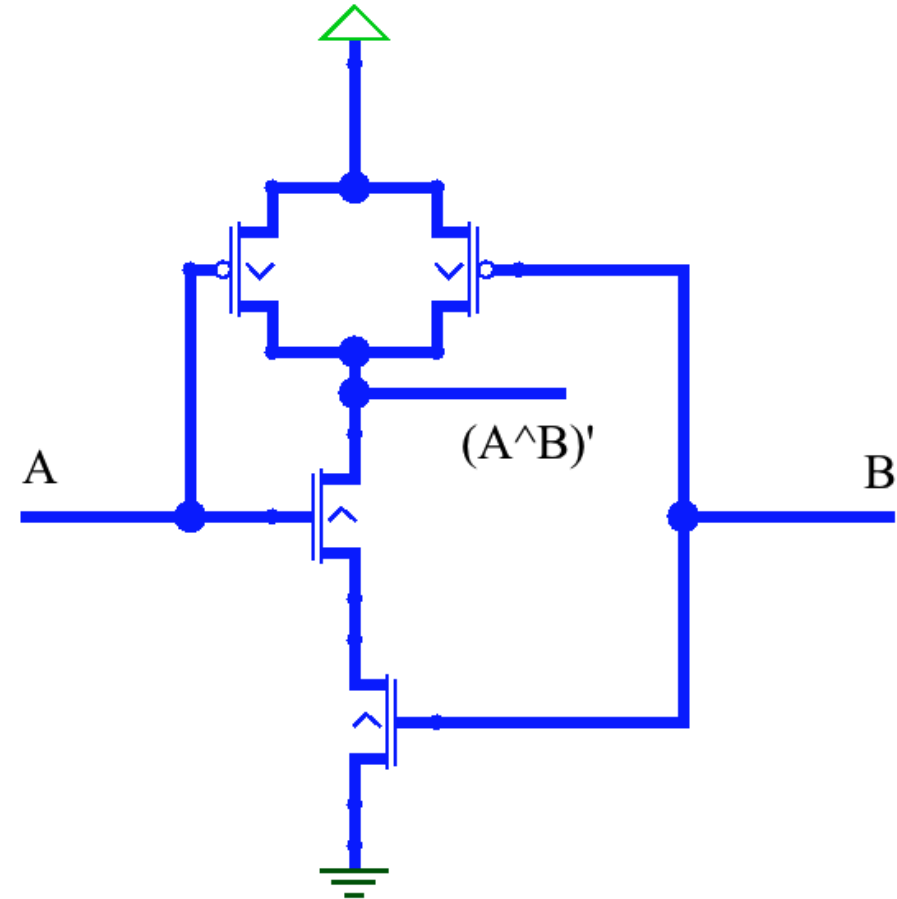
# NAND gate

Output=Not(A and B)

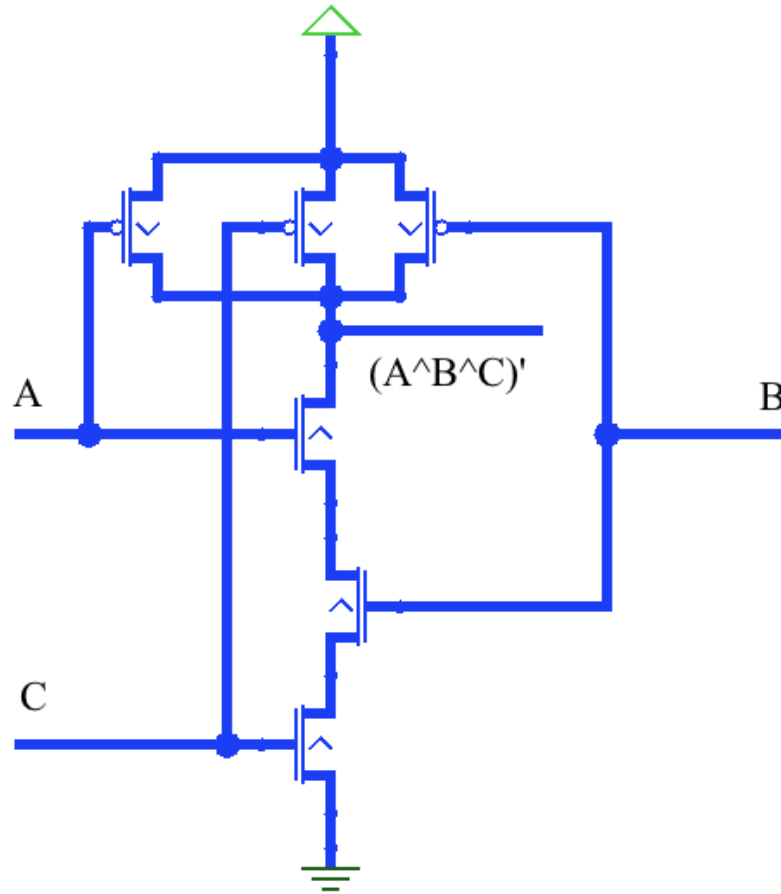
$(A \wedge B)'$  in Boolean notation

You can turn in into "normal" AND

By adding invertor (Not gate)

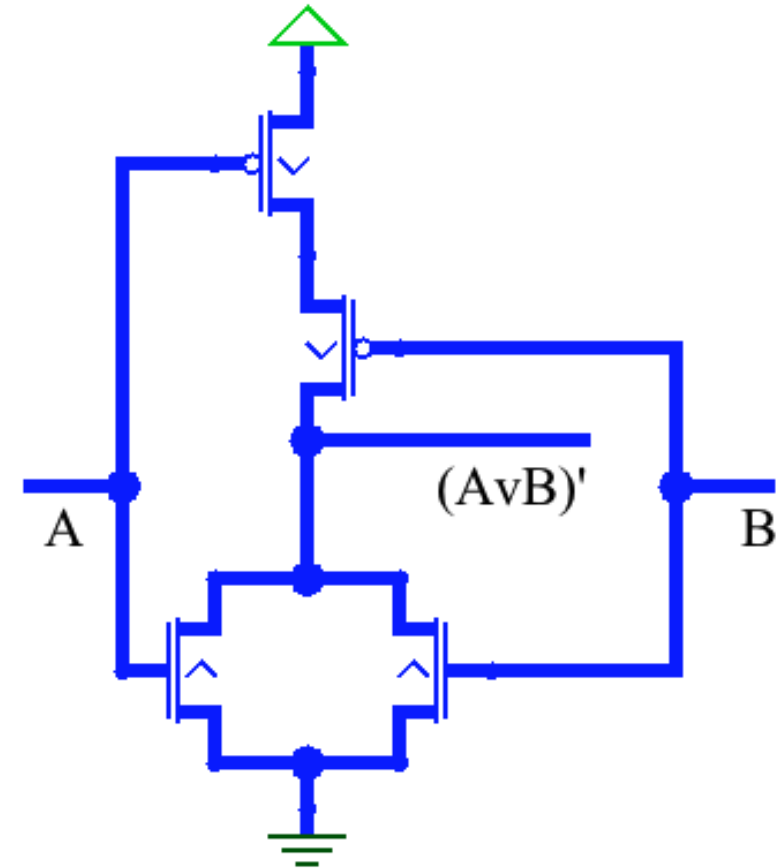


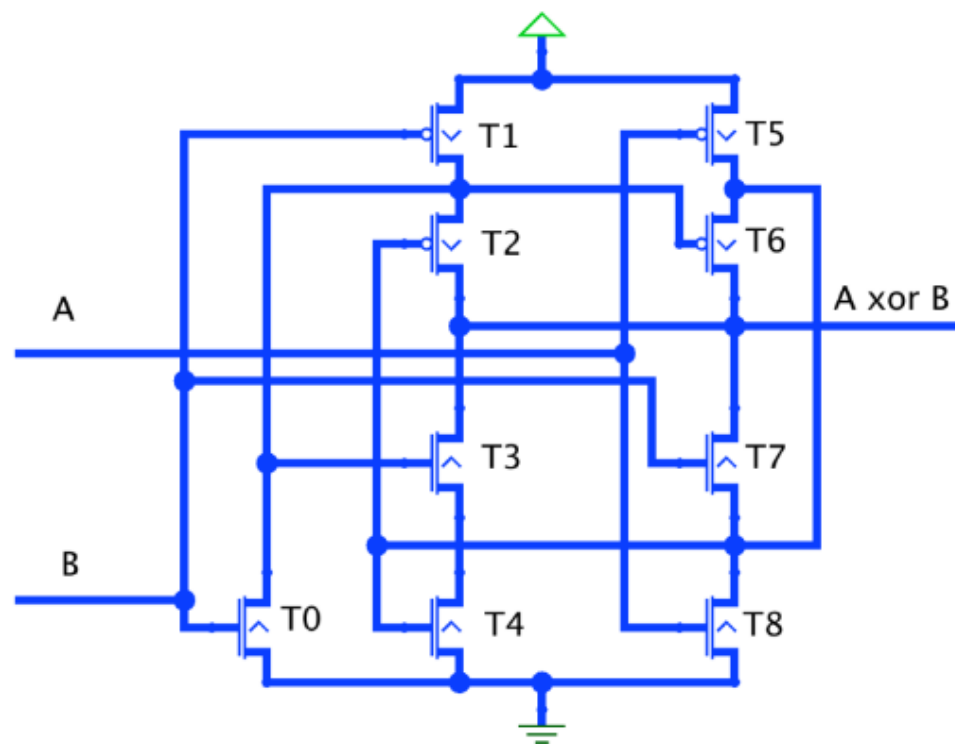
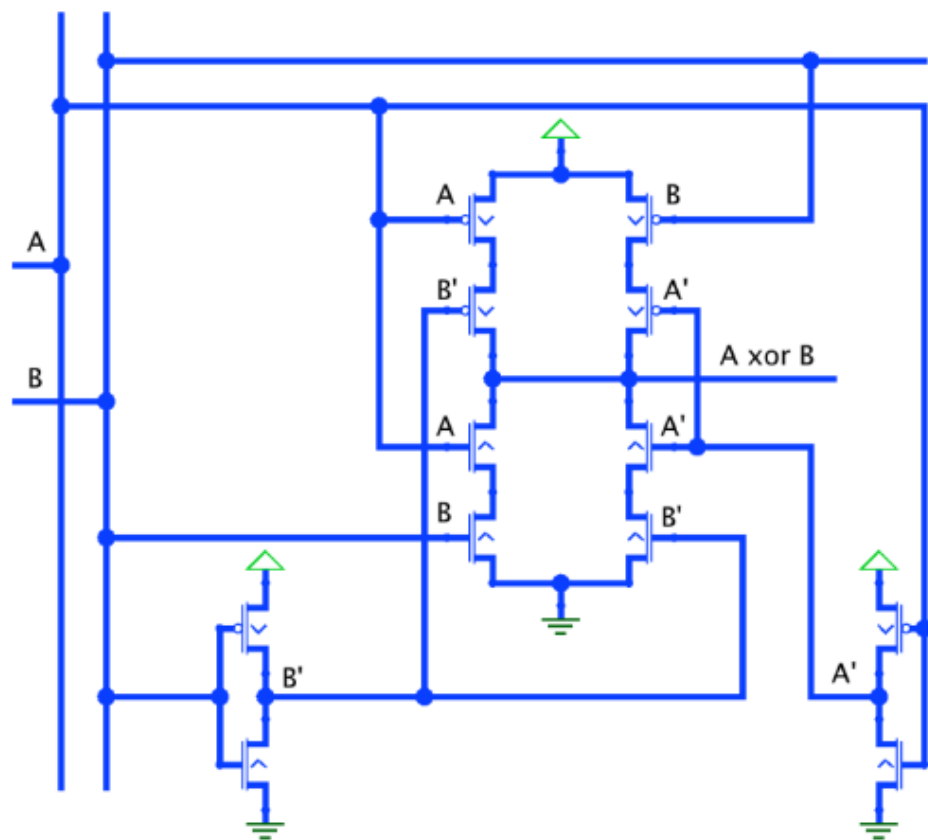
# 3-input NAND gate



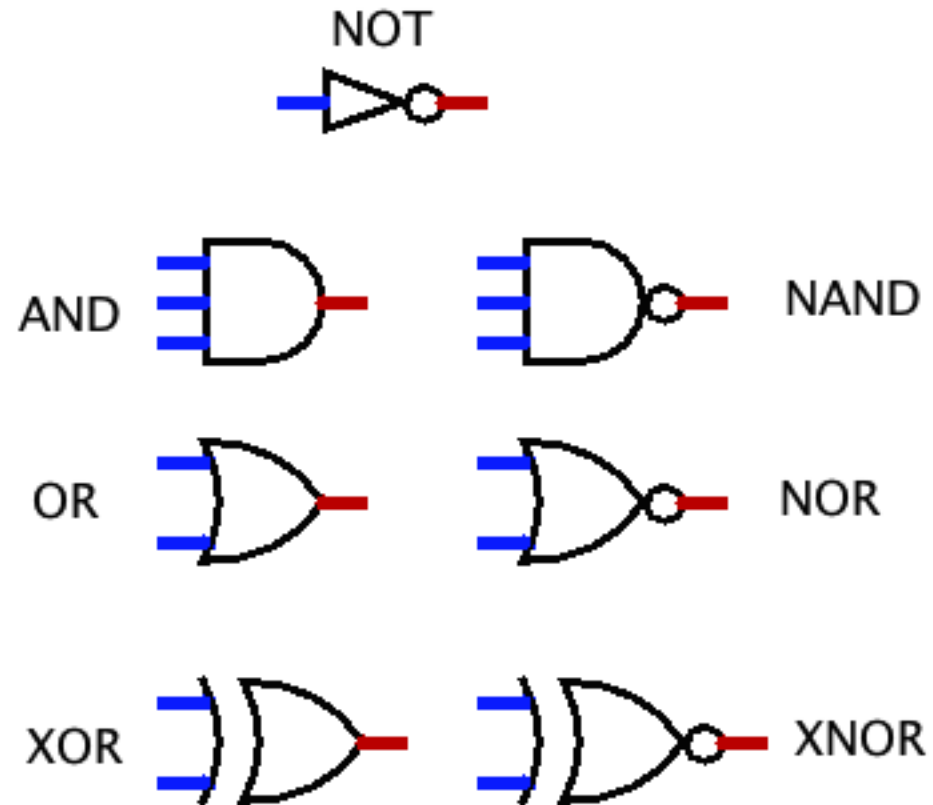
# NOR gate

NAND gate turned upside down  
From Boolean algebra, you should remember, that  $(A \vee B)' = (A') \wedge (B')$   
Having AND, OR and NOT operations, we can implement any logical expression





# Gates symbols in Logisim



Логическая функция	Условное графическое обозначение ЛЭ	
	Отечественное	Зарубежное
НЕ		
И		
ИЛИ		
И-НЕ		
ИЛИ-НЕ		
Сложение по модулю 2 (Исключающее ИЛИ)		
Эквивалентность (Исключающее ИЛИ-НЕ)		

# Таблица истинности двухвходовых элементов И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ

Вход 1	Вход 2	Выход И	Выход И-НЕ	Выход ИЛИ	Выход ИЛИ-НЕ
0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	1	0



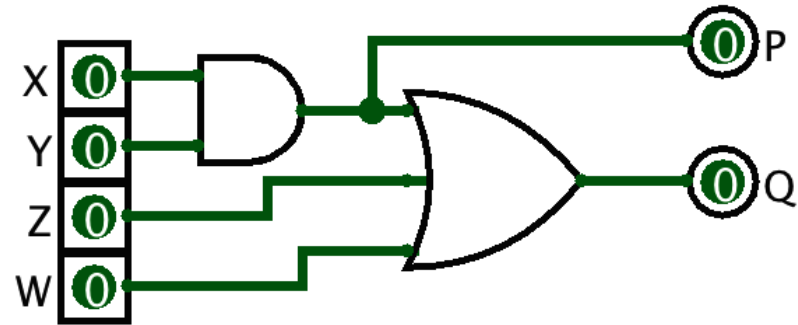
# Таблица истинности элемента Исключающее ИЛИ

<b>Вход 1</b>	<b>Вход 2</b>	<b>Выход</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

# Logical schemes and chips in Logisim

Chip X

with inputs X, Y, Z, W  
and outputs P, Q



Scheme utilizing chip X  
And tunnel bar  
Tunnel is a wire you do  
not want to route  
through scheme

