

Диодно-резисторная логика,  
Биполярный транзистор,  
Диодно-транзисторная логика.

Diode-Resistor Logic,  
Bipolar Transistor,  
Diode-Transistor Logic

# Схемотехника цифровых элементов

Квантовая логика ?

КМОП логика

Эмиттерно-связанная логика

Транзисторно-транзисторная логика

Диодно-транзисторная логика

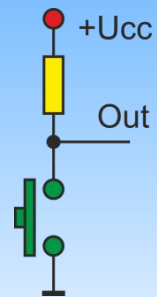
Диодно-резисторная логика

Релейная логика

# Релейная логика

## NOT

Механическое воздействие

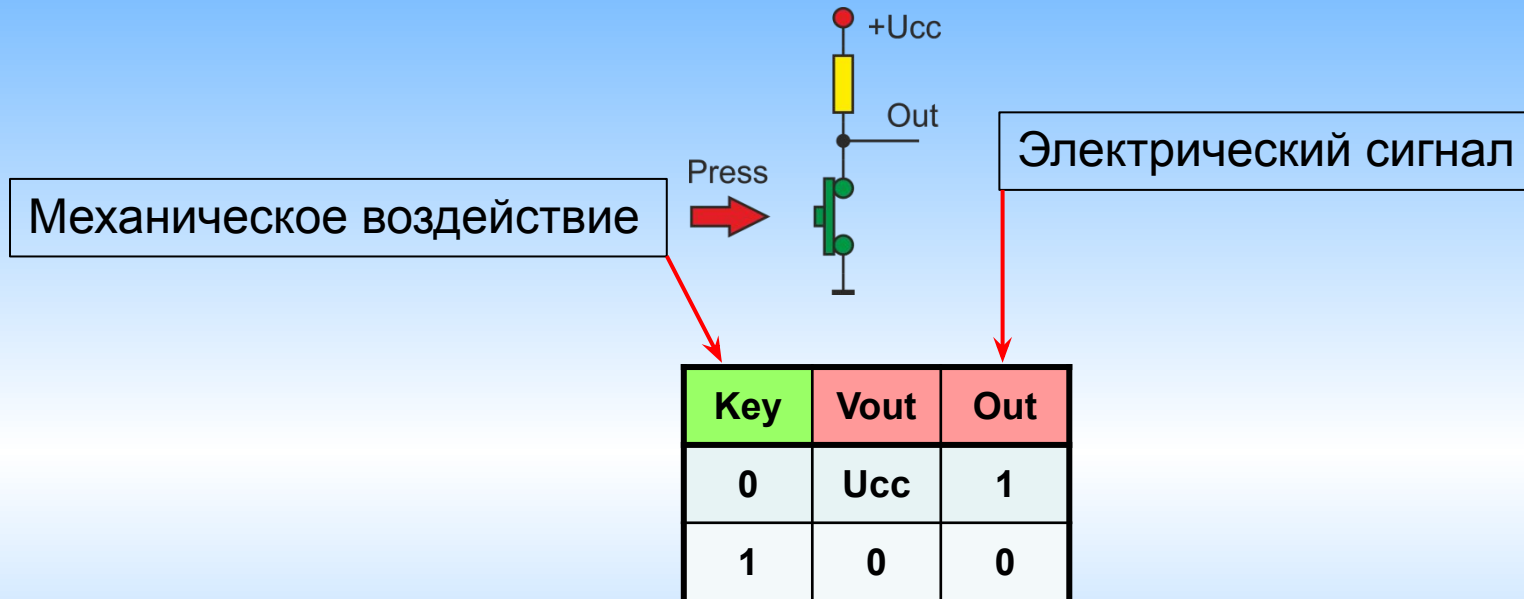


Электрический сигнал

Key	Vout	Out
0	Ucc	1

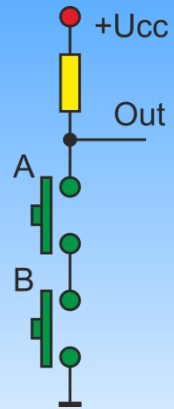
# Релейная логика

NOT



# Релейная логика

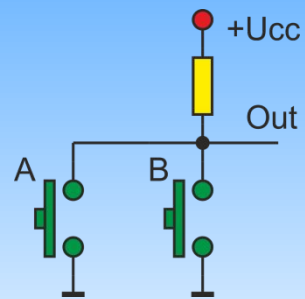
## NAND



A	B	Vout	Out
0	0	Ucc	1
0	1	Ucc	1
1	0	Ucc	1
1	1	0	0

# Релейная логика

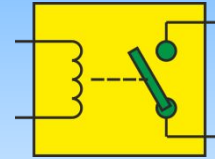
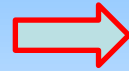
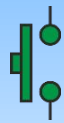
## NOR



A	B	Vout	Out
0	0	Ucc	1
0	1	Ucc	0
1	0	Ucc	0
1	1	0	0

# Релейная логика

Электрический вход



# Релейная логика

## Достоинства

Полный базис

Можно сделать сколь угодно сложную цифровую систему

### Harry Porter's Relay Computer 2009

Data Bus (8 bits)  
Address Bus (16-bits)  
415 Relays  
111 Switches  
350 LEDs  
Max Power Consumption: 12 Amps @ 13.5 Volts (160 Watts)



<http://web.cecs.pdx.edu/~harry/Relay/index.html>



# Релейная логика

## Недостатки

### Малое быстродействие

[сек]

$\tau_{01}, \tau_{10}$

$\tau = \max(\tau_{01}, \tau_{10})$

### Большое энергопотребление

[Вт]

$P$

### Большая энергия переключения

[Дж]

$W = P \times \tau$

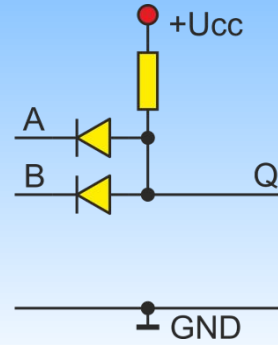
### Малая плотность элементов

### Надежность

### Стоимость

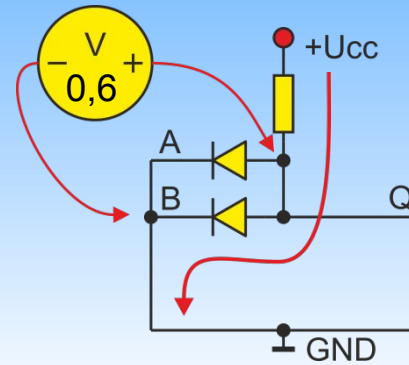
# Диодно-резисторная логика

## 2И (2AND)



# Диодно-резисторная логика

2И (2 AND)

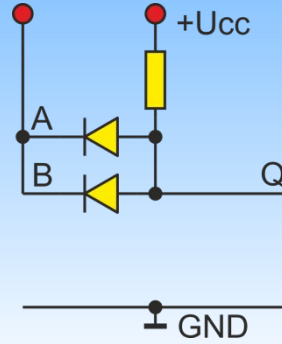


A	B	V <sub>Q</sub>	Q
0	0	0,6	0

Если  $U_{CC} \gg 0,6V$

# Диодно-резисторная логика

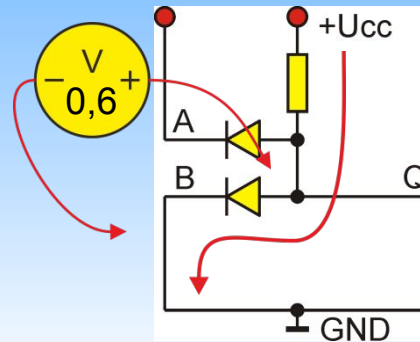
## 2И (2 AND)



A	B	V <sub>Q</sub>	Q
0	0	0,6	0
1	1	U <sub>cc</sub>	1

# Диодно-резисторная логика

2И (2 AND)



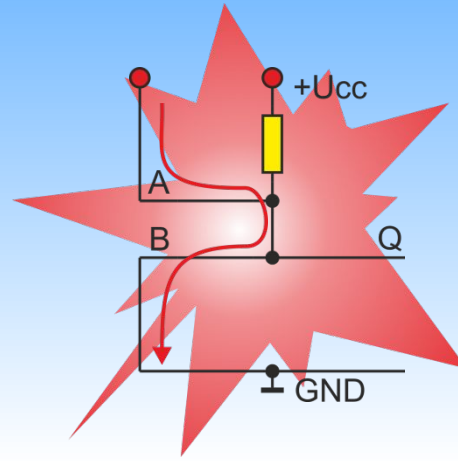
A	B	V <sub>Q</sub>	Q
0	0	0,6	0
1	0	0,6	0
0	1	0,6	0
1	1	U <sub>CC</sub>	1

Если  $U_{CC} \gg 0,6V$

# Диодно-резисторная логика

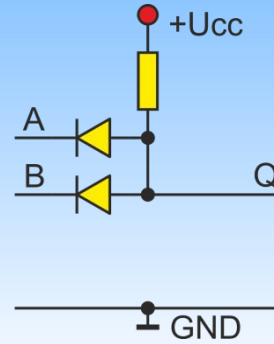
2И (2 AND)

Зачем нужны диоды?



# Диодно-резисторная логика

2И (2 AND)



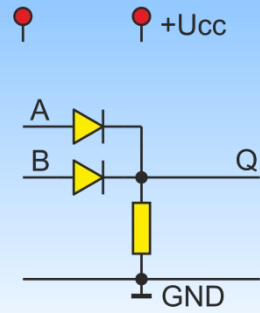
A	B	Q
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Если  $U_{CC} \gg 0,6V$



# Диодно-резисторная логика

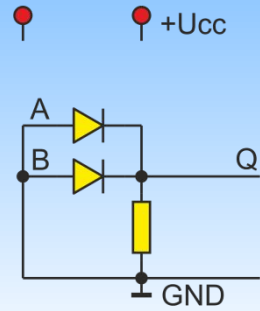
## 2ИЛИ (2OR)





# Диодно-резисторная логика

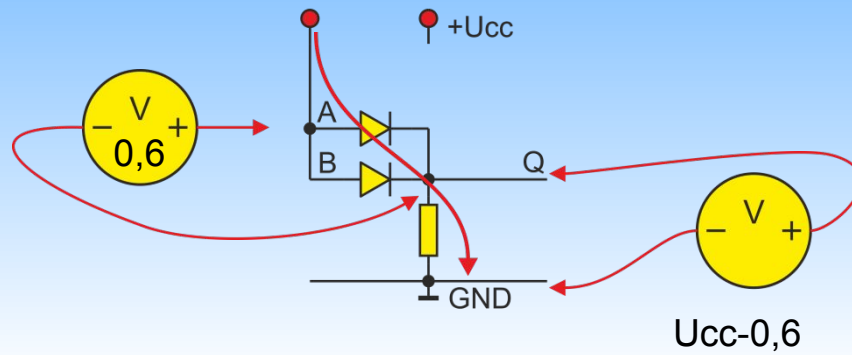
## 2ИЛИ (2OR)



A	B	V <sub>Q</sub>	Q
0	0	0	0

# Диодно-резисторная логика

## 2ИЛИ (2OR)

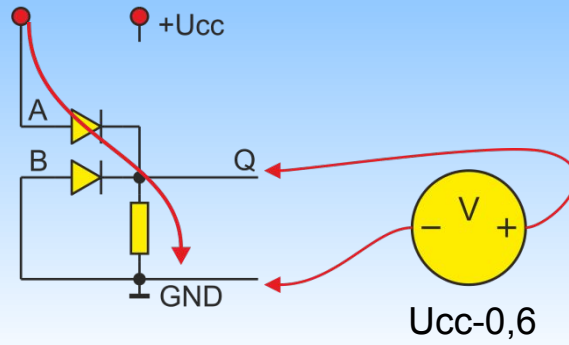


A	B	$V_Q$	Q
0	0	0	0
1	1	$U_{cc}-0,6$	1

Если  $U_{cc} \gg 0,6V$

# Диодно-резисторная логика

## ИЛИ (2OR)



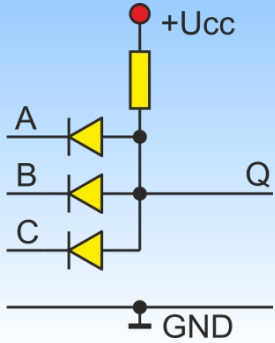
A	B	$V_Q$	Q
0	0	0	0
1	0	$U_{cc}-0,6$	1
0	1	$U_{cc}-0,6$	1
1	1	$U_{cc}-0,6$	1

Если  $U_{cc} \gg 0,6V$

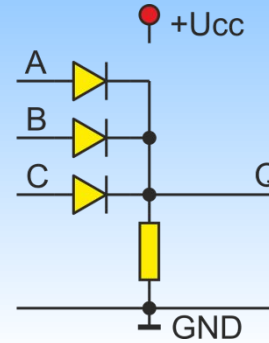


# Диодно-резисторная логика

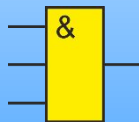
## Многовходовые элементы



C	B	A	Q
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

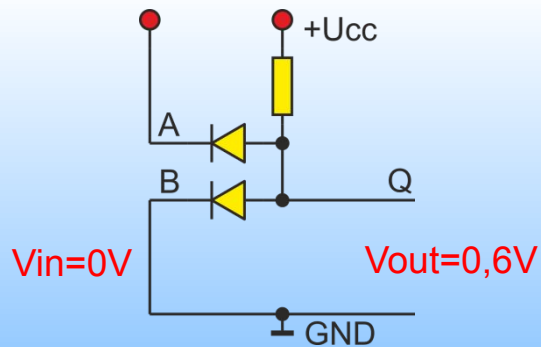


C	B	A	Q
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

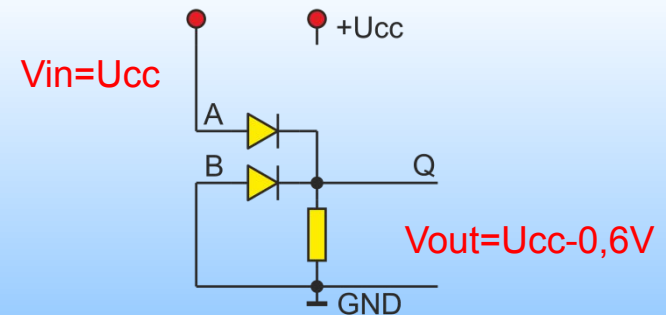


## Недостатки

- ❑ Невозможно сделать инвертор. Базис неполный.
- ❑ Отрицательный запас помехоустойчивости.

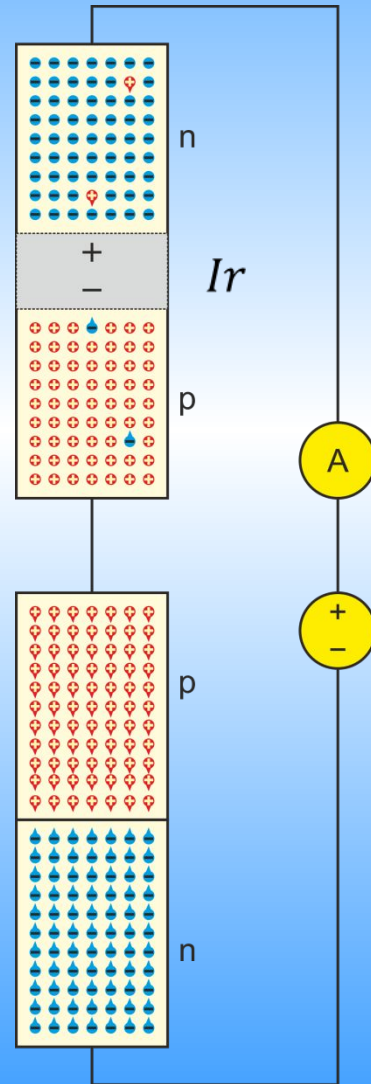
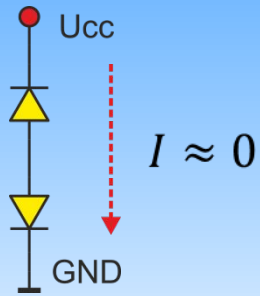


Логический 0 на выходе хуже чем на входе



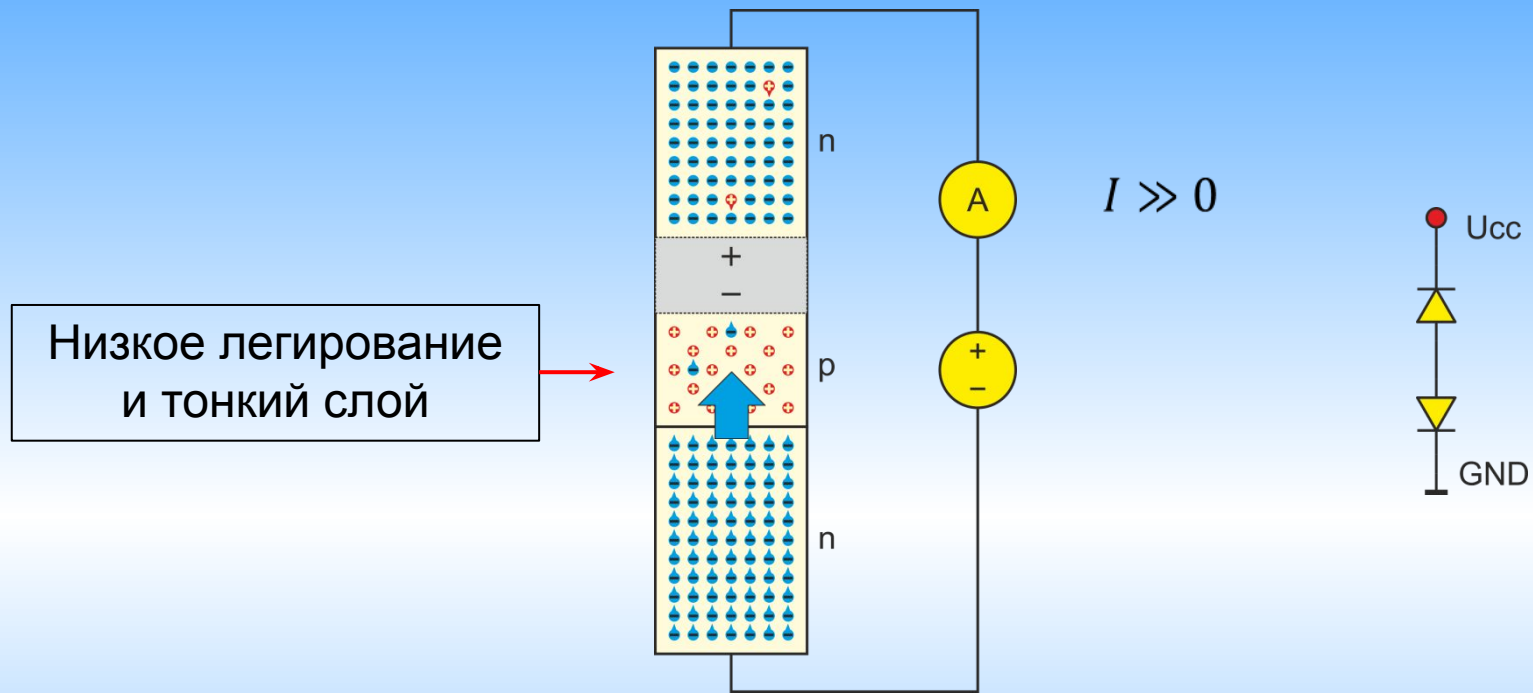
Логическая 1 на выходе хуже чем на входе

# Биполярный транзистор



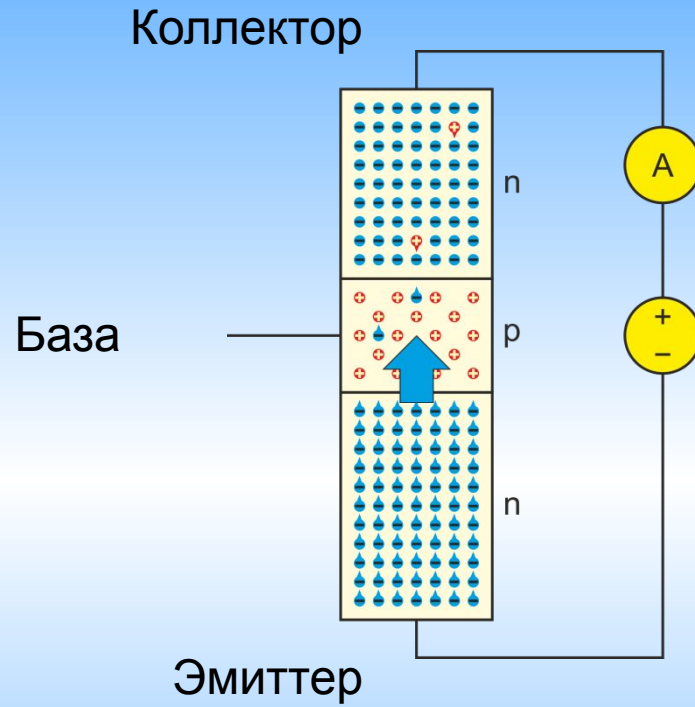
$I_r \approx$  ТОК НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ

# Биполярный транзистор



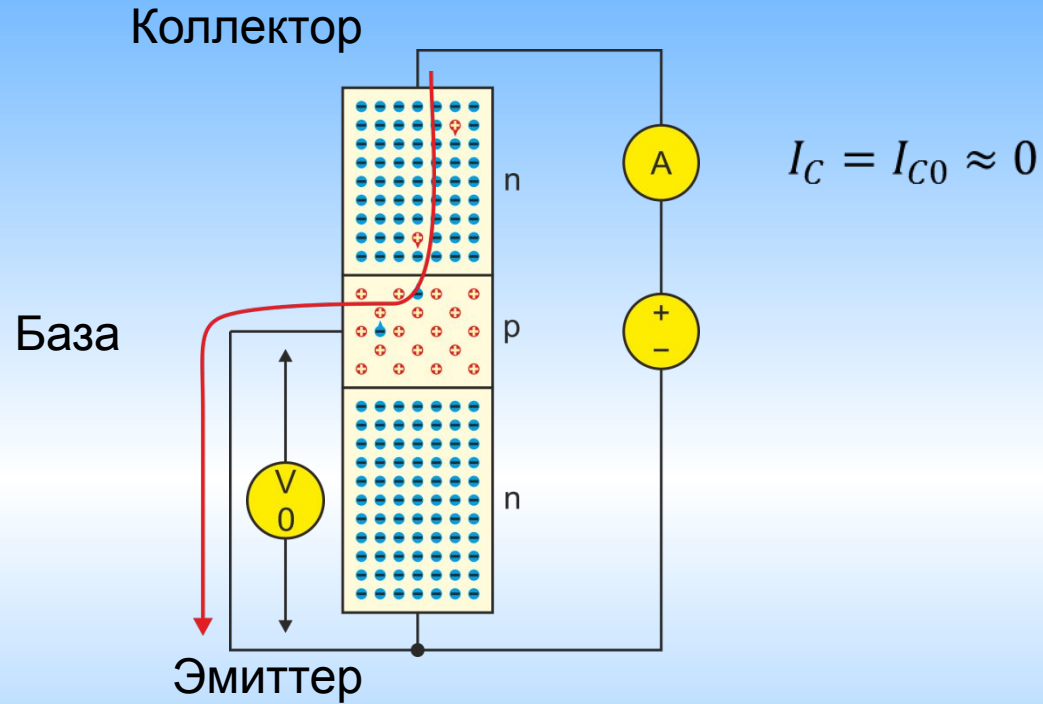
Можно ли управлять этим током?

# Биполярный транзистор

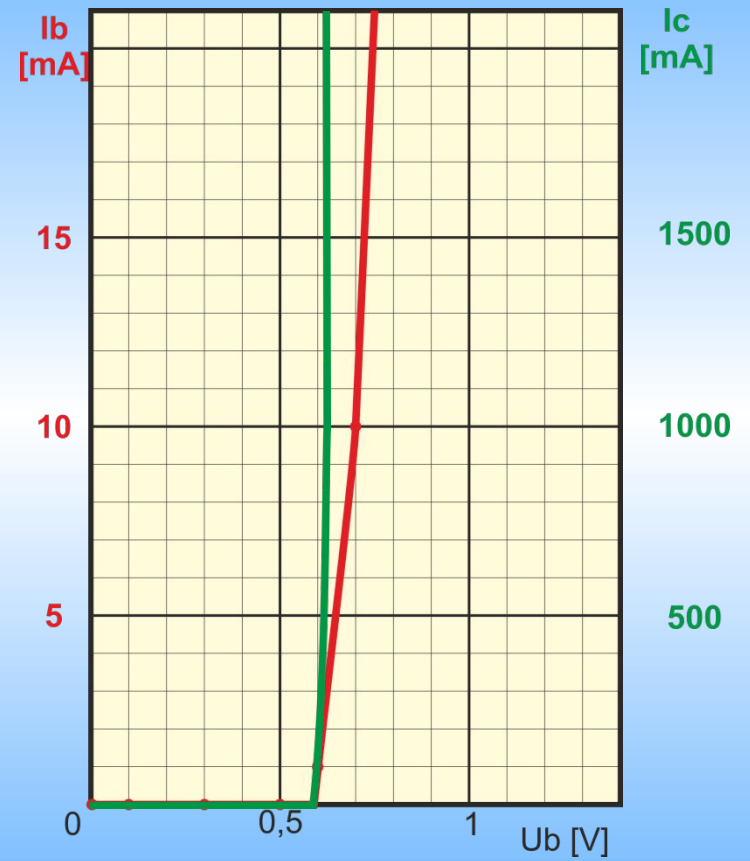
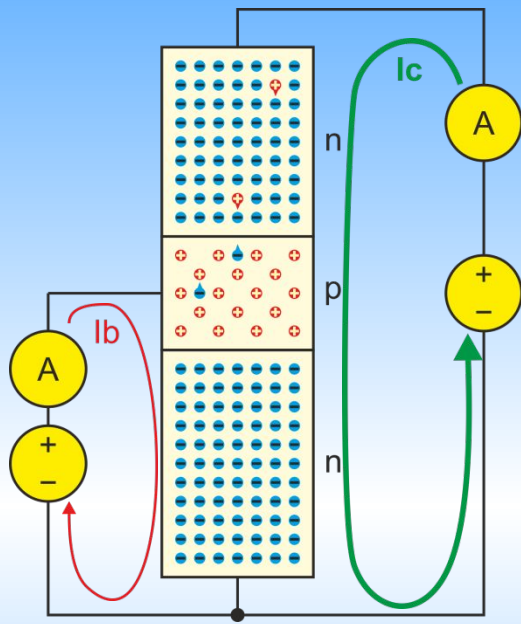




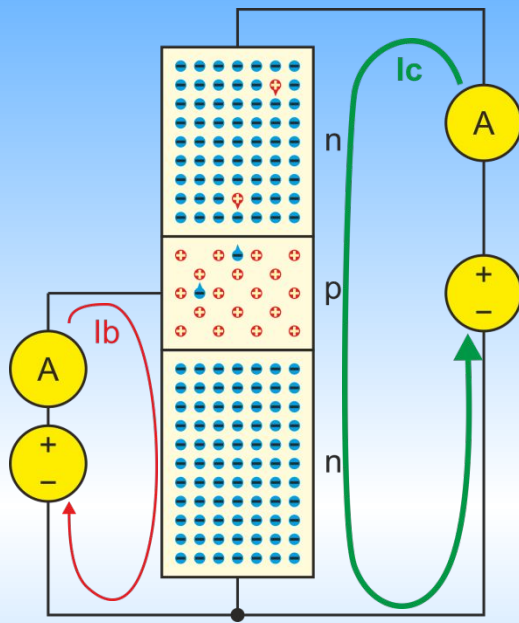
# Биполярный транзистор



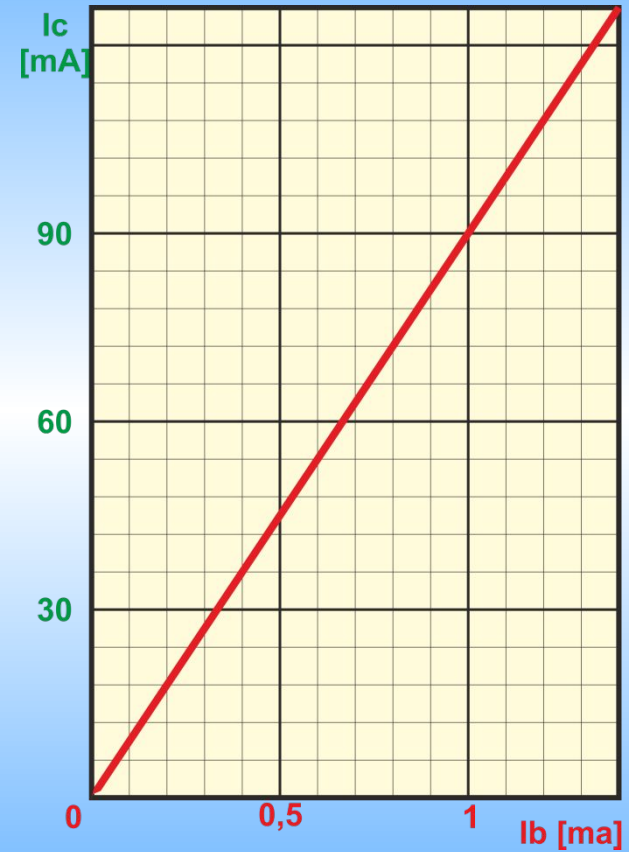
# Биполярный транзистор



# Биполярный транзистор



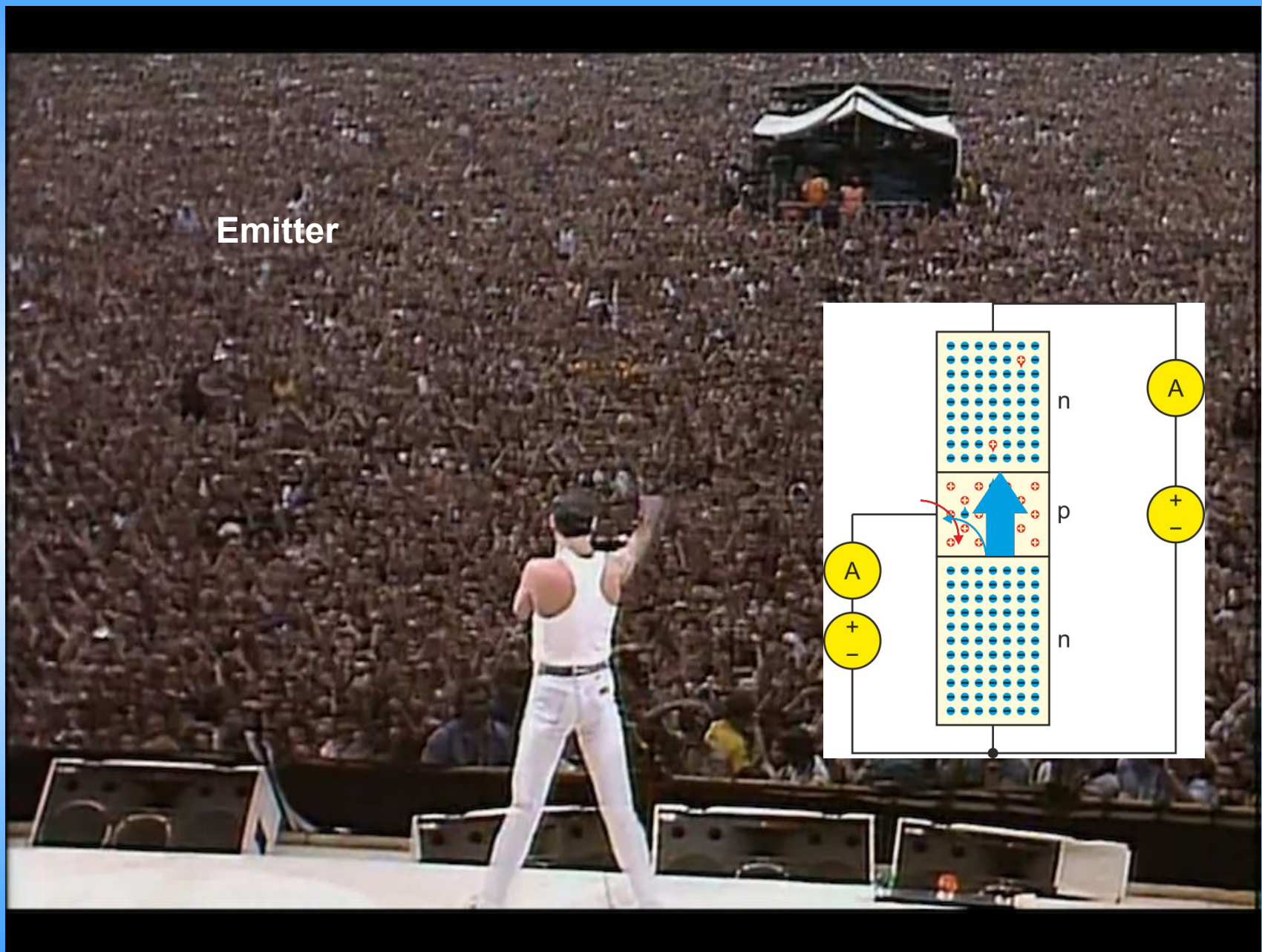
$$I_C \sim I_b$$



Почему ток коллектора больше управляющего тока базы?

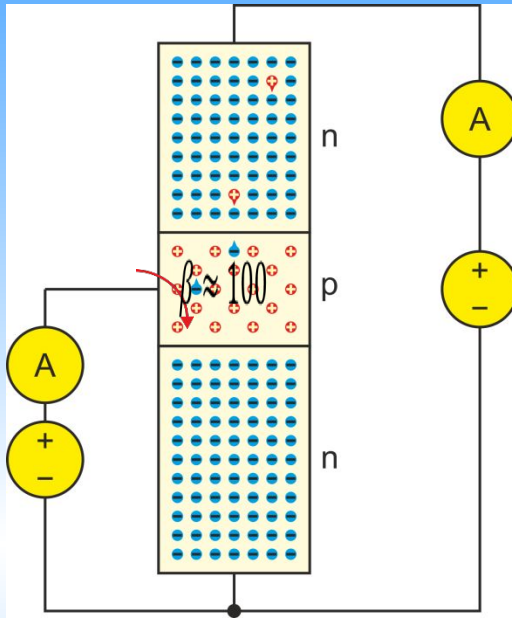
# Биполярный транзистор

Emitter



# Биполярный транзистор

## Эффективность транзистора



$$I_c = \alpha \times I_e \quad \alpha - \text{Коэффициент передачи тока эмиттера}$$

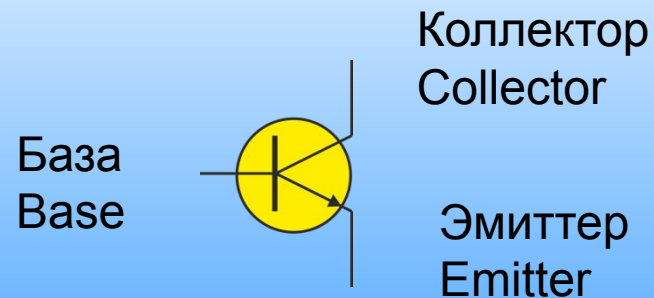
$$\alpha \rightarrow 1$$

$$\alpha \approx 0,99$$

$$I_c = \beta \times I_b \quad \beta - \text{Коэффициент передачи тока базы}$$

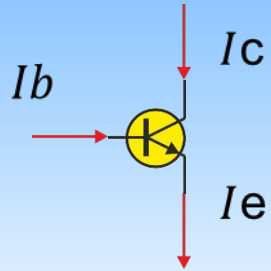
$$\beta \rightarrow \infty$$

$$\beta \approx 100$$



# Биполярный транзистор

Токи



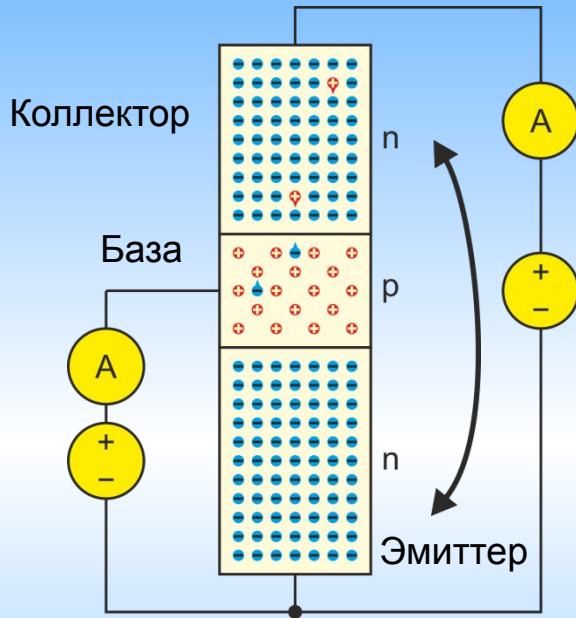
Первый закон Кирхгофа

$$I_e = I_b + I_c$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

# Биполярный транзистор

Можно ли менять местами эмиттер и коллектор?



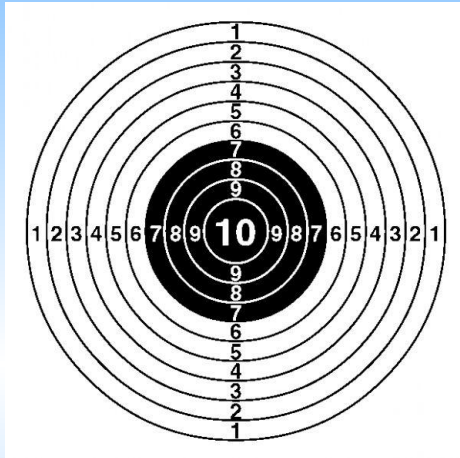
Можно, но ...

Эффективность транзистора станет значительно хуже

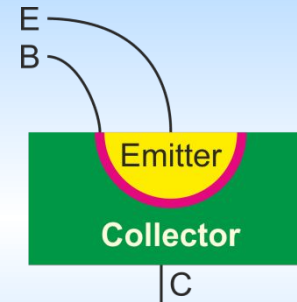
# Биполярный транзистор

## Геометрический фактор эффективности транзистора

Эффективность ( $\alpha$ ) будет тем выше, чем больше зарядов вылетевших из эмиттера попадут в коллектор.



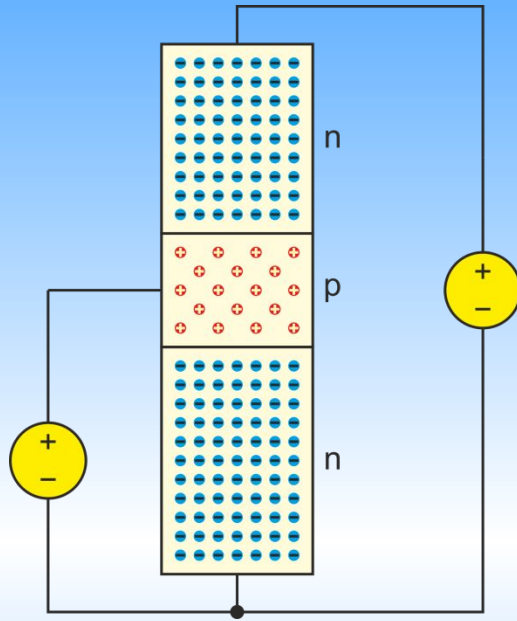
Collector



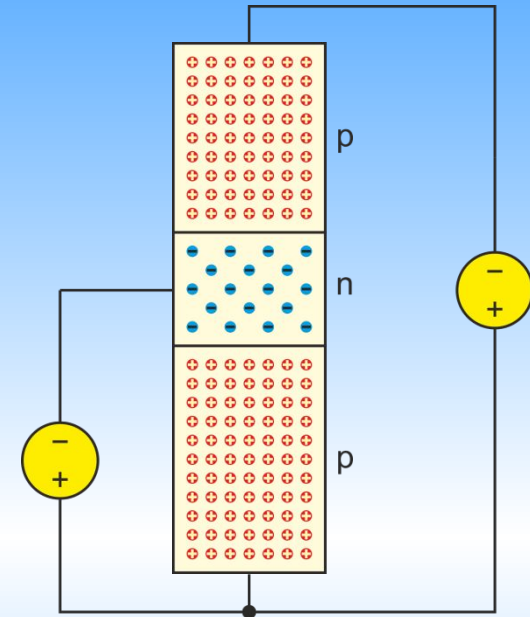


# Биполярный транзистор

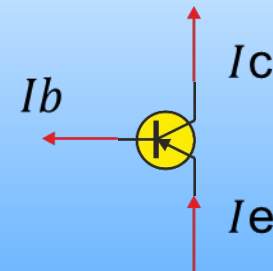
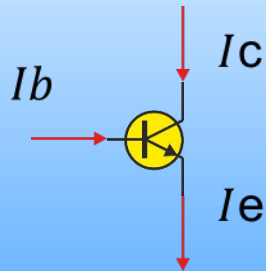
## Типы



n-p-n

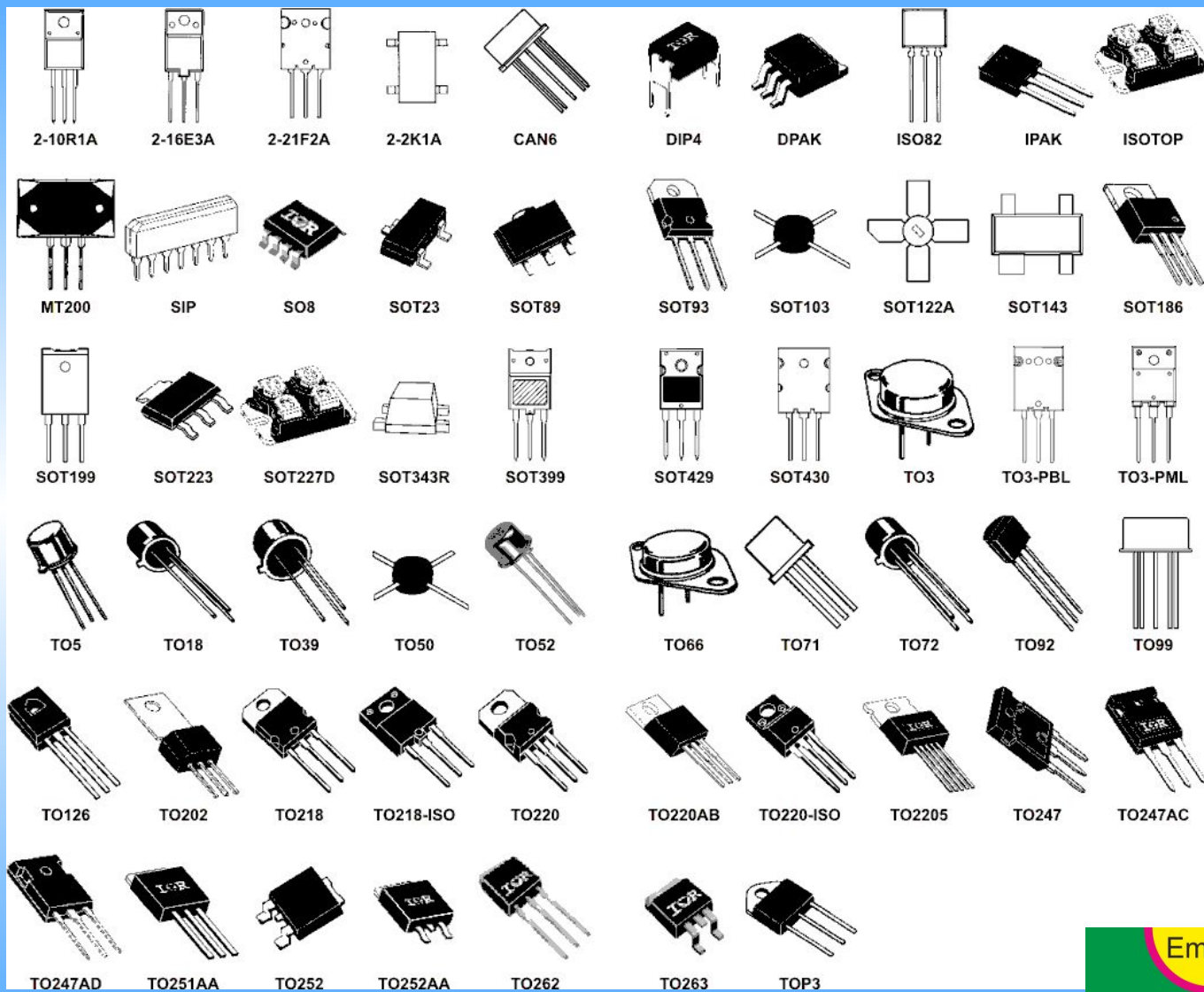


p-n-p



# Биполярный транзистор

## Корпуса



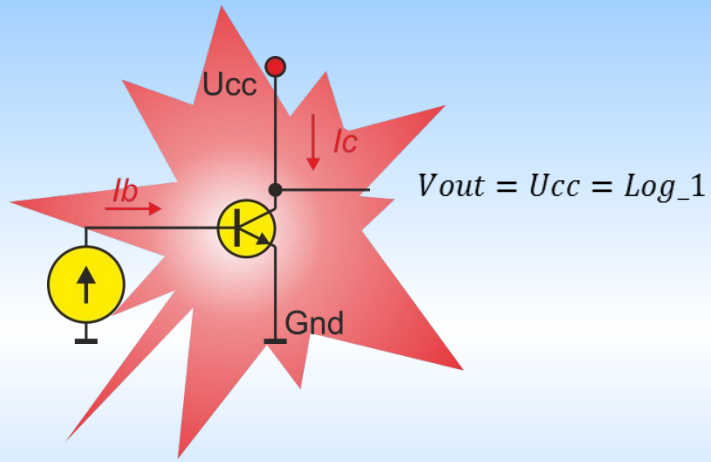
[http://texvedkom.org/wp-content/uploads/2011/04/tranz\\_obud\\_\\_1.gif](http://texvedkom.org/wp-content/uploads/2011/04/tranz_obud__1.gif)



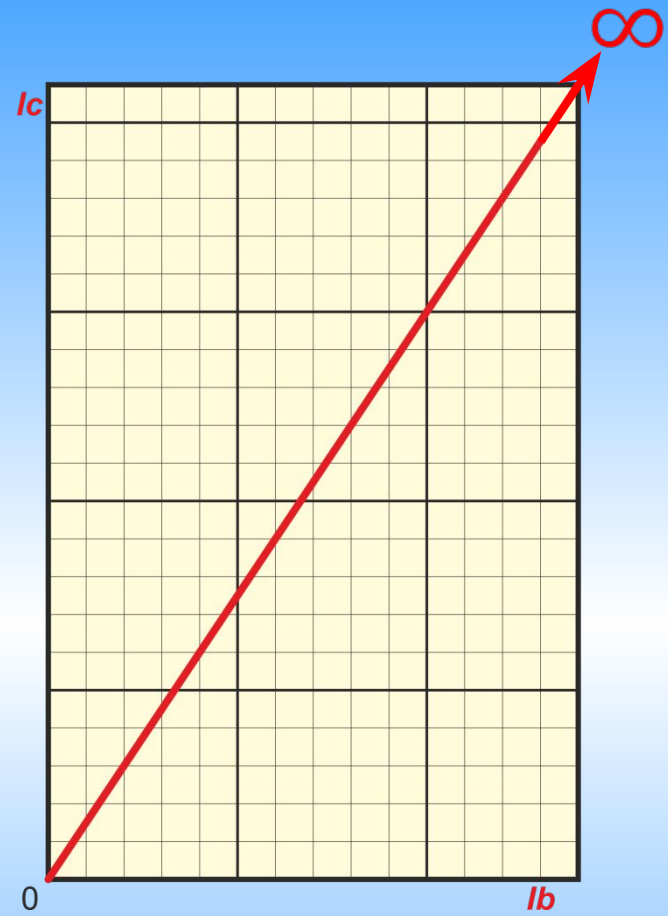
# Транзисторный ключ

n-p-n

Ток

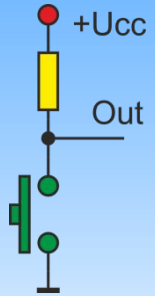


$$I_c = \beta \times I_b$$



# Транзисторный ключ

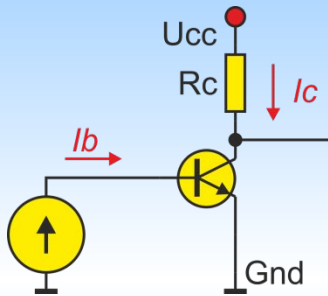
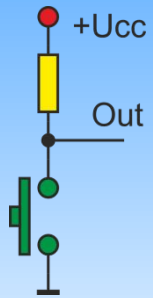
n-p-n



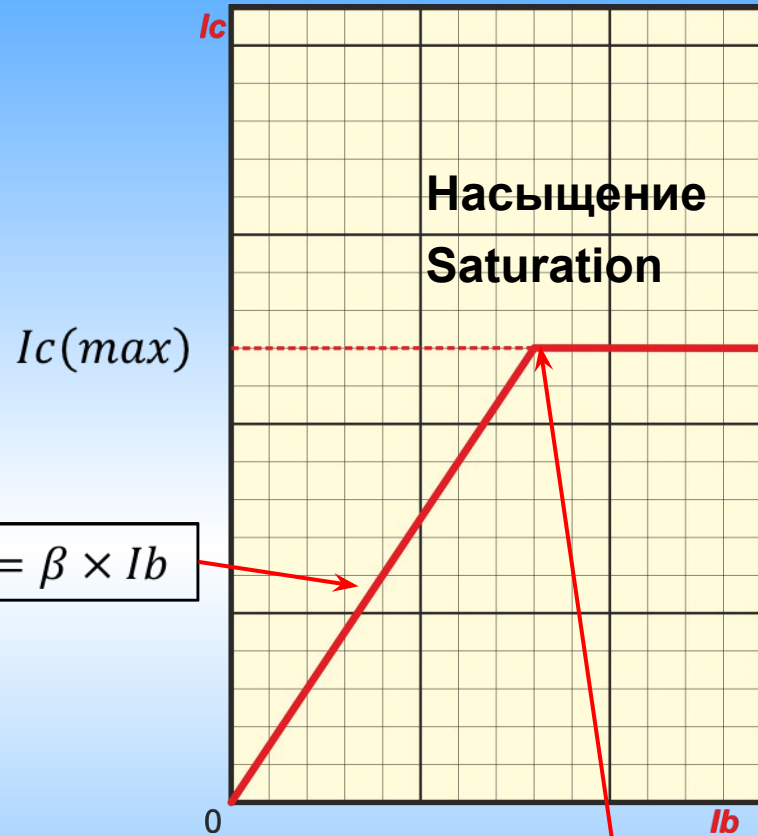
# Транзисторный ключ

n-p-n

Ток



$$Ic(max) = \frac{Ucc}{Rc}$$



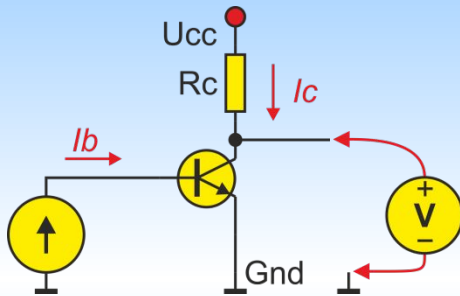
$$Ic = \beta \times Ib$$

$$Ib_{sat} = \frac{Ucc}{\beta \times Rc}$$

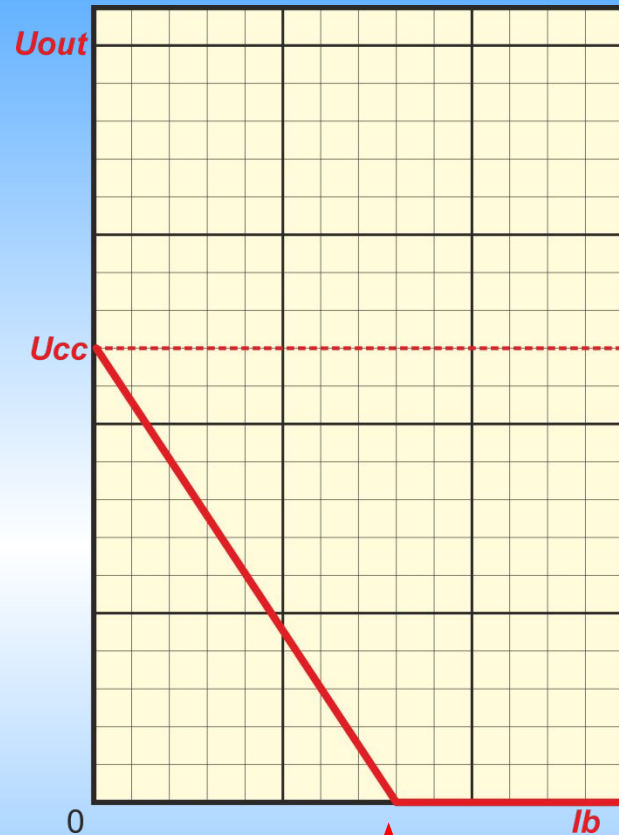
# Транзисторный ключ

n-p-n

## Ток и Напряжение



$$U_{out} = U_{cc} - R_c \times I_c$$



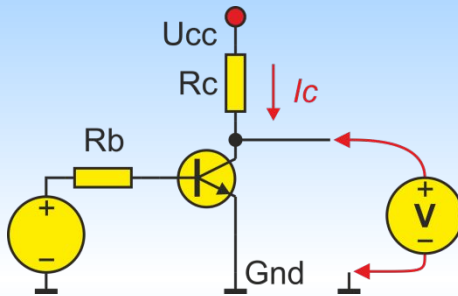
$$I_{b\_sat} = \frac{U_{cc}}{\beta \times R_c}$$

Как перейти от управления током ( $I_b$ ) к управлению напряжением?

# Транзисторный ключ

n-p-n

## Напряжение



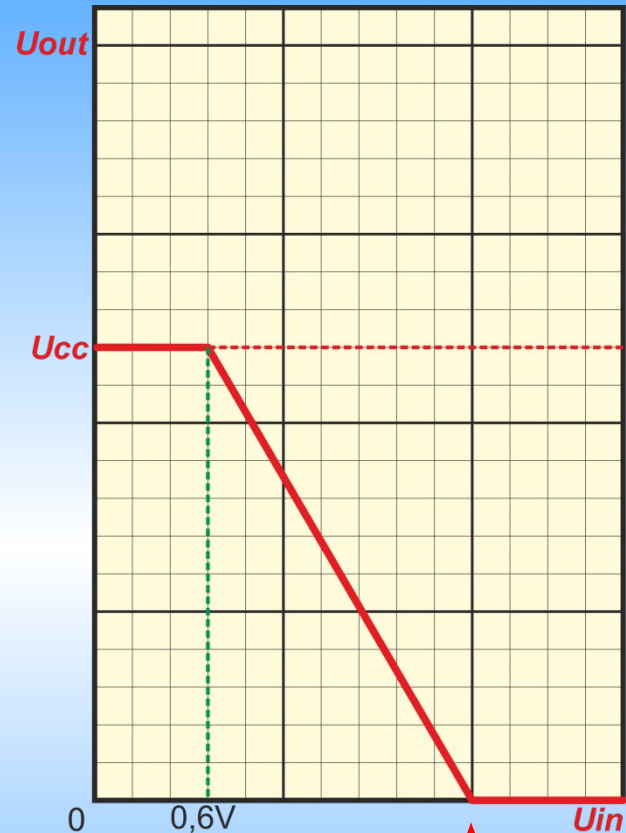
$$I_b = \frac{V_{in} - 0,6}{R_b}$$

$$V_{out} = U_{cc} - R_c \times I_c$$

$$I_c = \beta \times I_b$$

$$V_{out} = U_{cc} - R_c \times \beta \times I_b$$

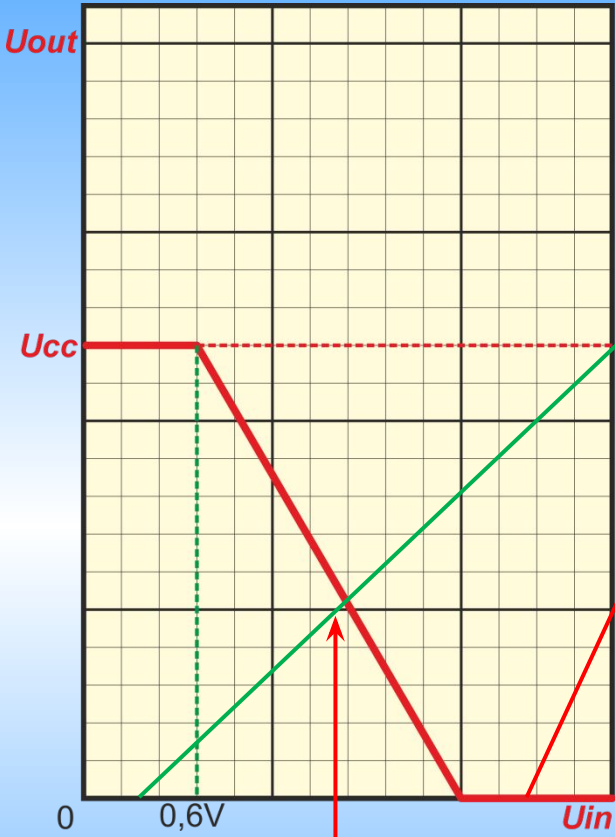
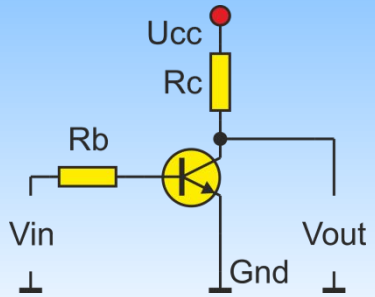
$$V_{out} = U_{cc} - R_c \times \beta \times \frac{V_{in} - 0,6}{R_b}$$



$$V_{in\_sat} = \frac{U_{cc}}{\beta \times R_c} \times R_b + 0,6$$

# Транзисторный ключ

n-p-n



Vin0

Vin1

~~Линейный режим~~

In	Vin	Vout	Out
0	0 ÷ 0,4	Ucc	1
1	Vin_sat ÷ Ucc	0	0

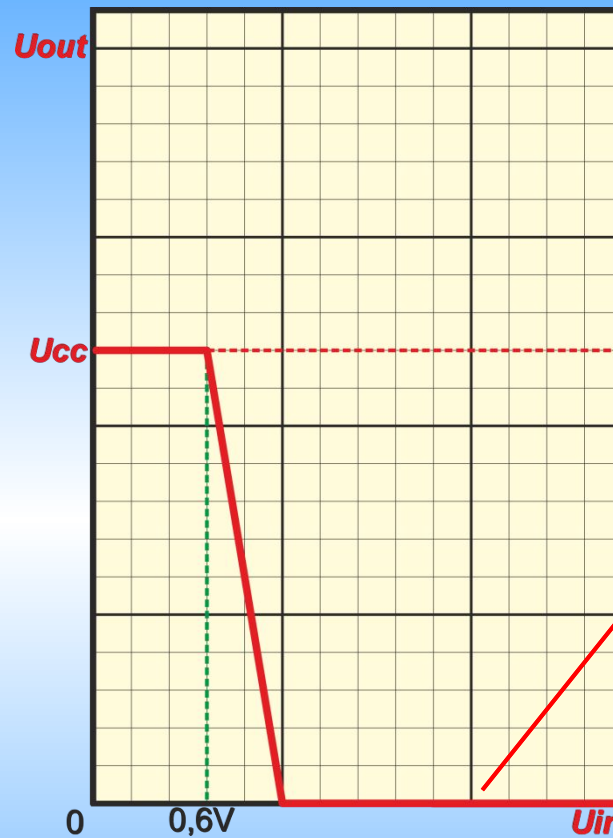
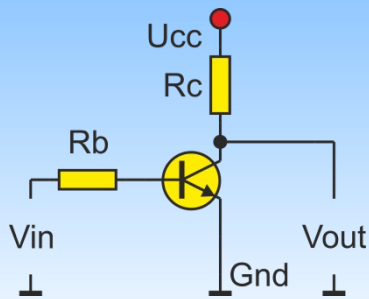
$$V_{in\_sat} = \frac{U_{cc}}{\beta \times R_c} \times R_b + 0,6$$





# Транзисторный ключ

Проблема  $\beta$  имеет очень большой технологический разброс (в разы)



In	Vin	Vout	Out
0	0 ÷ 0,4	Ucc	1
1	Vin_sat ÷ Ucc	0	0

$$V_{in\_sat} = \frac{U_{cc}}{\beta \times R_c} \times R_b + 0,6$$

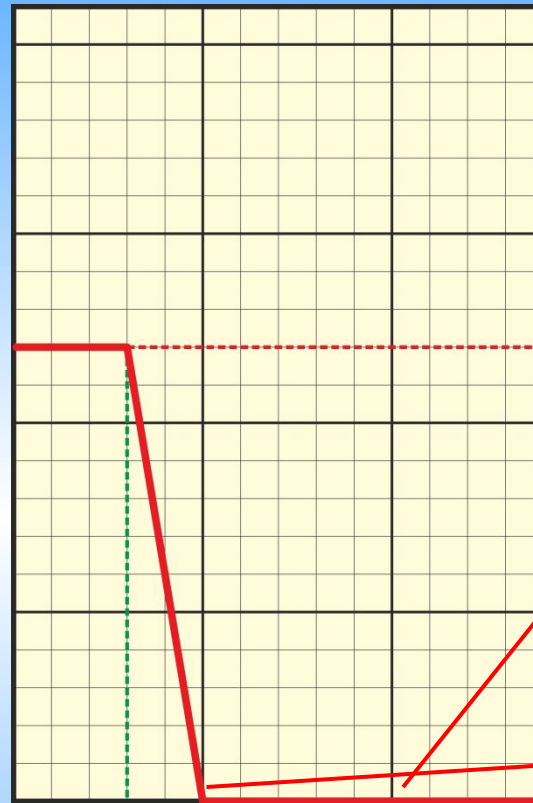
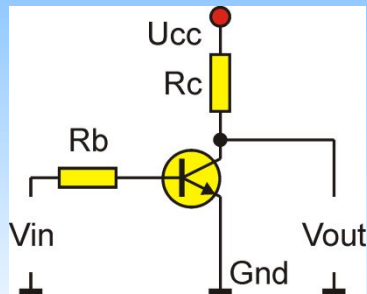
Vin0

Vin1

Нужно поддать тока базы,  
уменьшив резистор  $R_b$  в  $n$  раз.

# Транзисторный ключ

Проблема: решение



In	Vin	Vout	Out
0	$0 \div 0,4$	$U_{cc}$	1
1	$V_{in\_sat} \div U_{cc}$	0	0

$$V_{in\_sat+} = \frac{U_{cc}}{\beta \times R_c} \times \frac{R_b}{n} + 0,6$$

$V_{in0}$

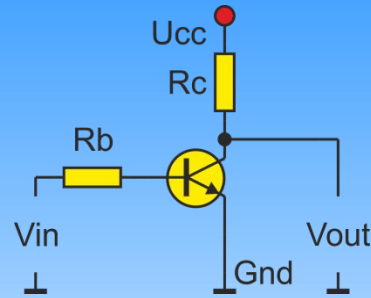
$V_{in1}$

$n$  – коэффициент насыщения

Для слабых цифровых схем примем  $n=10$

# Транзисторный ключ

## Расчет $R_b$



Обычно заранее заданы

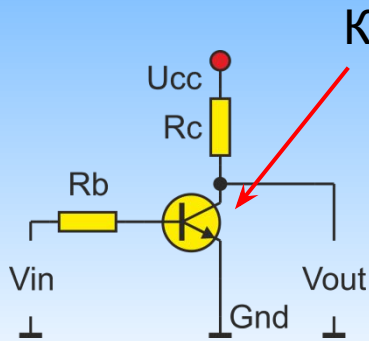
- |  |                 |
|--|-----------------|
| <input type="checkbox"/> Напряжение питания                          | $U_{cc}$        |
| <input type="checkbox"/> Сопротивление или ток нагрузки              | $R_c$ или $I_c$ |
| <input type="checkbox"/> Минимальное напряжение входной логической 1 | $V_{in1}$       |

$$R_b = (V_{in1} - 0,6) \times \frac{\beta \times R_c}{10 \times U_{cc}}$$

$$R_b = (V_{in1} - 0,6) \times \frac{\beta}{10 \times I_c}$$

# Транзисторный ключ

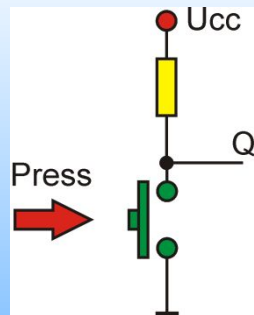
Мощность выделяемая на ключе



Ключ (транзистор в ключевом режиме)

Мощность управления

$$P_{vt} = I_c \times U_{out} + I_b \times V_{in}$$



$I_c \times U_{out}$

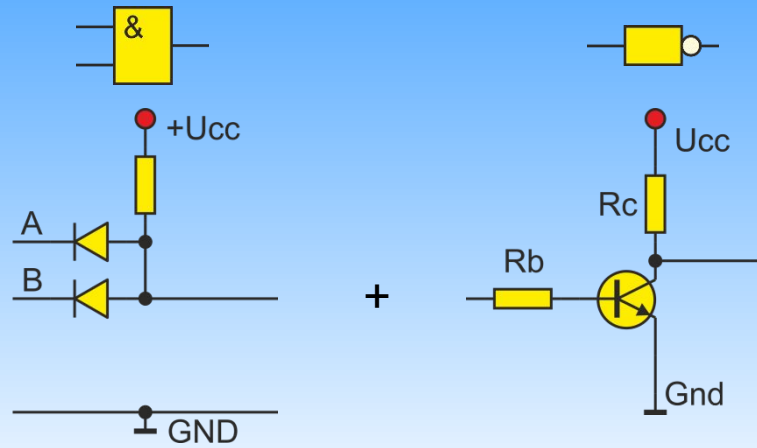
In	Vout	Ic	Pvt
0	Ucc	0	0
1	0	I <sub>max</sub>	0

В статическом режиме

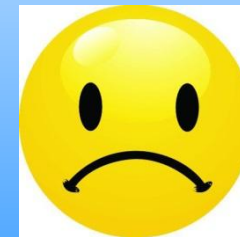
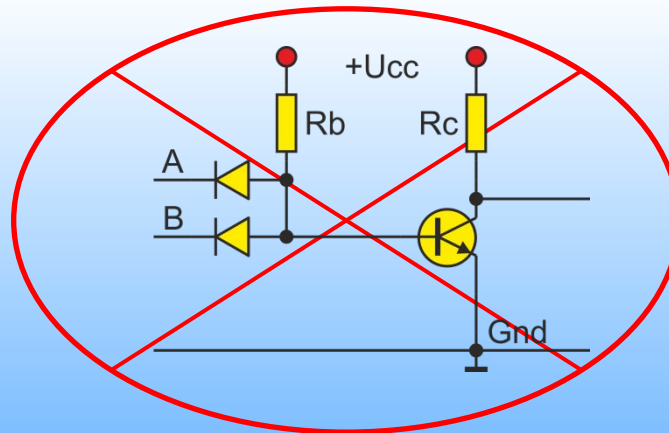
# Диодно-транзисторная логика

## ДТЛ (DTL)

ДРЛ  
DRL

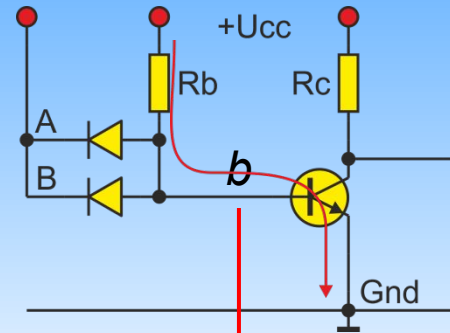


Транзисторный ключ



# Диодно-транзисторная логика

## ДТЛ (DTL)

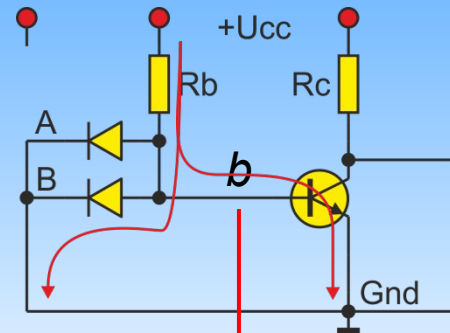


A	B	Vb	Out
1	1	0,6	0

$In_1 \equiv In_{open}$

# Диодно-транзисторная логика

## ДТЛ (DTL)

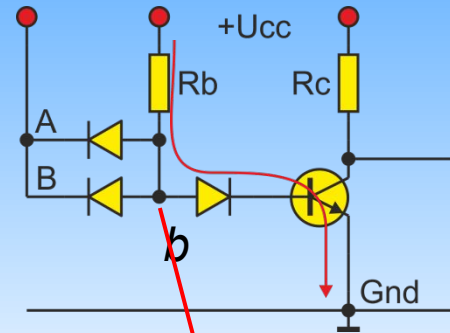


A	B	Vb	Out
0	0	0,6	?
0	1	0,6	?
1	0	0,6	?
1	1	0,6	0

Что делать?

# Диодно-транзисторная логика

## ДТЛ (DTL)



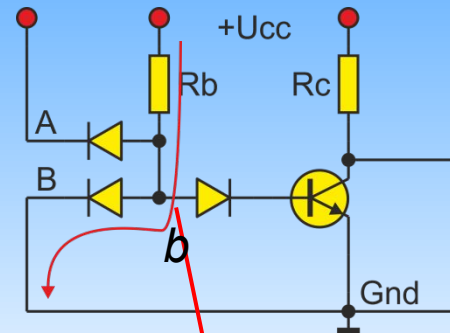
A	B	Vb	Out
1	1	1,2	0

$In_1 \equiv In\_not\_connected$



# Диодно-транзисторная логика

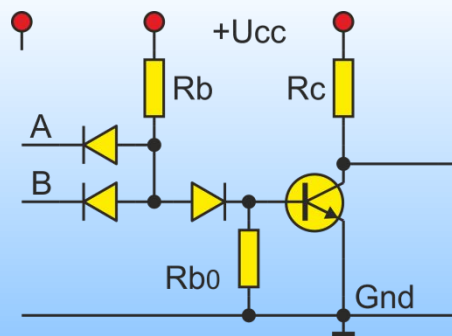
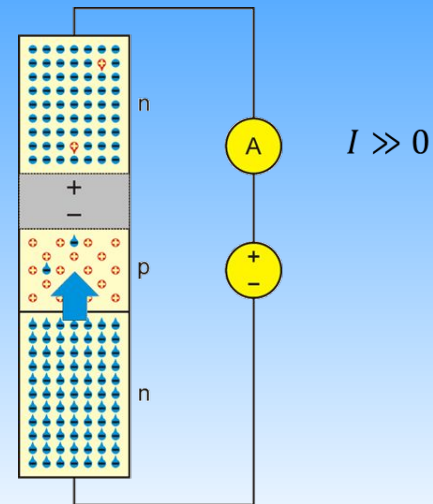
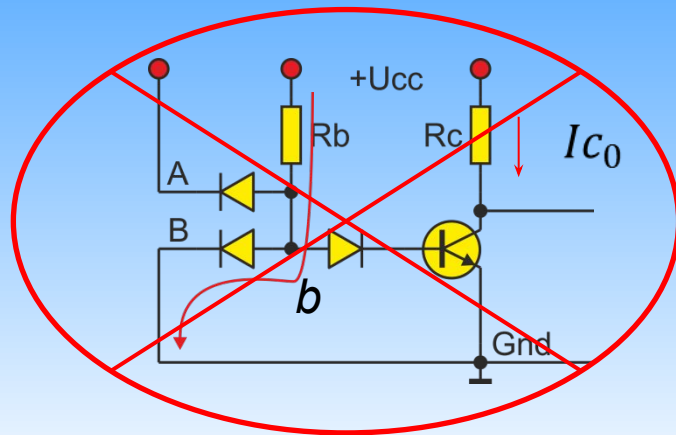
## ДТЛ (DTL)



A	B	Vb	Out
0	0	0,6	1
0	1	0,6	1
1	0	0,6	1
1	1	1,2	0

# Диодно-транзисторная логика

ДТЛ (DTL) маленькое дополнение

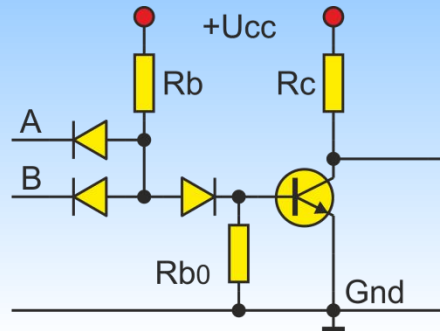


A	B	Q
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

$$Rb_0 \leq \frac{0,4}{Ic_0}$$



# Диодно-транзисторная логика



A	B	Q
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

