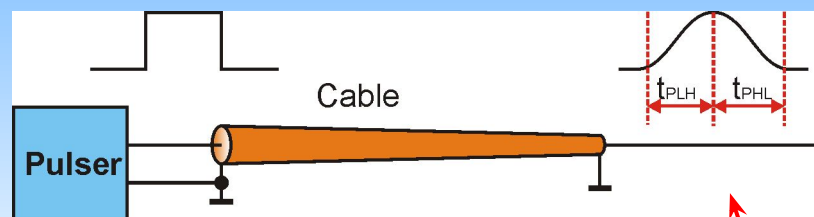




Триггер Шмитта  
Генераторы импульсов

Schmitt trigger

## Проблема 1



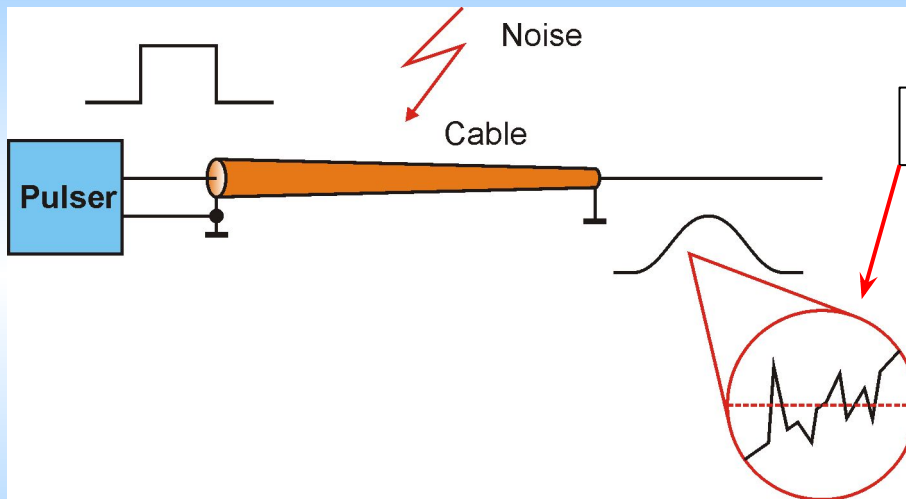
Генератор  
выдает вполне  
хорошие  
прямоугольные  
импульсы

После прохождения  
по длинному кабелю  
импульсы  
«размазываются».

Фронты импульса в конце кабеля не могут использоваться в качестве цифровых событий!

## Проблема 2

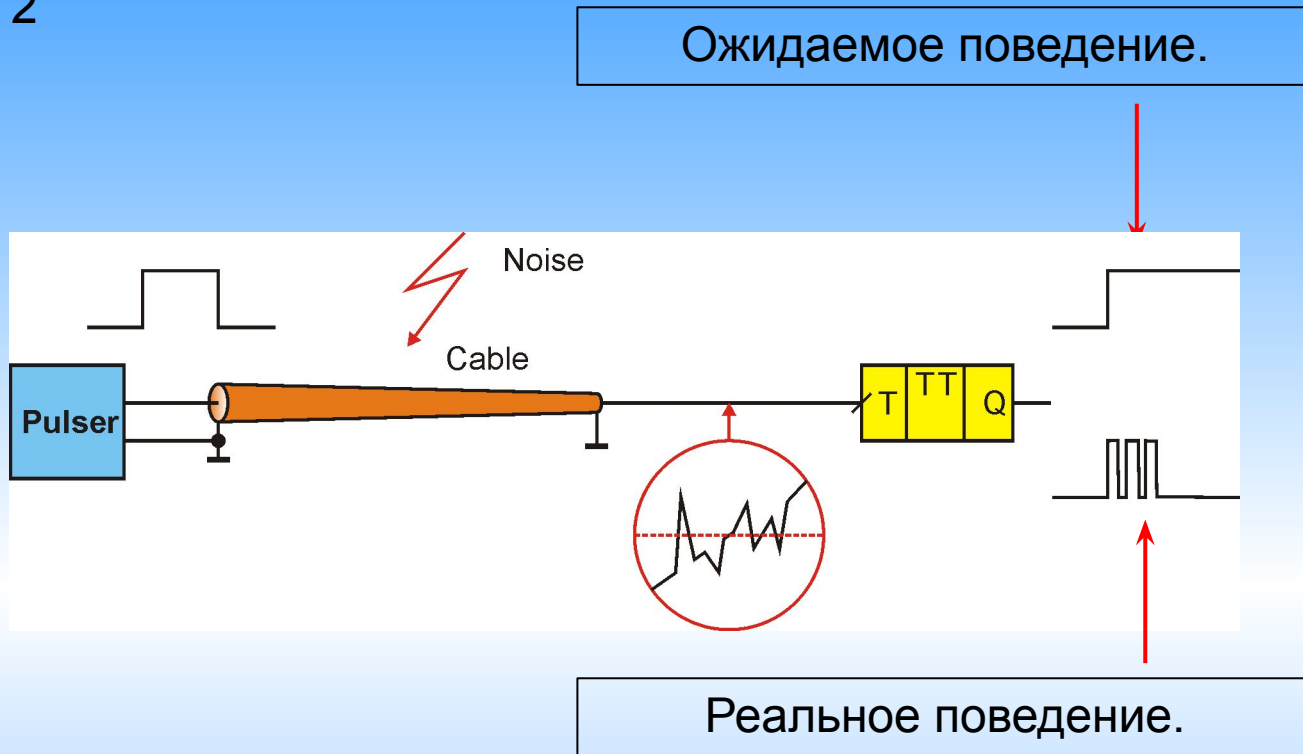
На любые электронные элементы воздействуют электромагнитные шумы.



Зашумленный сигнал.

Вместо одного фронта имеем несколько!

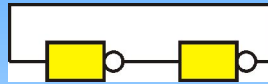
## Проблема 2



Даже если фронты не слишком растянуты, схема ведет себя непредсказуемо!

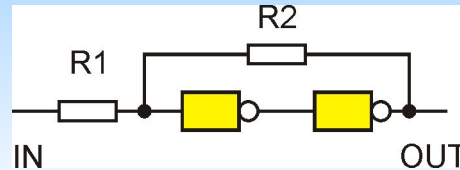
# Триггер Шмитта

Простейший триггер



100% обратная связь.  
Сигнал полностью передается с выхода устройства на его вход.

Триггер Шмитта

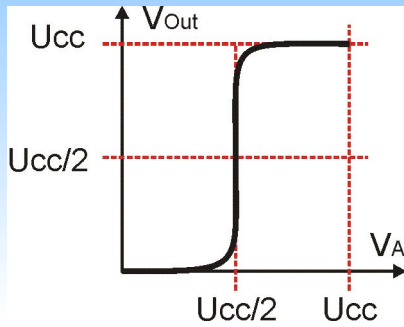
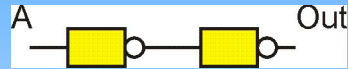


<100% обратная связь.  
Сигнал частично передается с выхода устройства на его вход.  
На вход IN можно подавать сигнал не устраивая короткое замыкание.

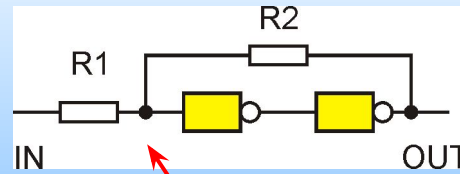
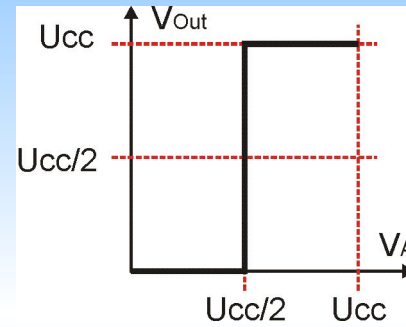
# Триггер Шмитта

Как это работает

КМОП



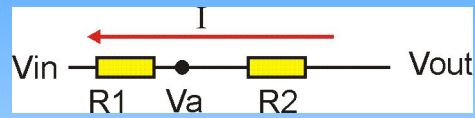
**IR**



**A**

**$V_{in} \neq V_A$**

# Делитель напряжения



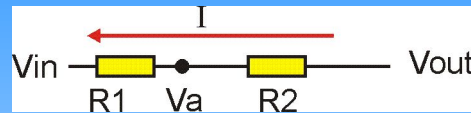
$$V_A = V_{IN} + I \times R1$$

$$I = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{R1 + R2}$$

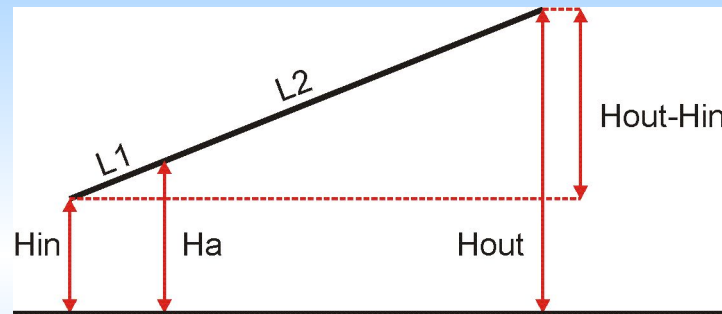
$$V_A = V_{IN} + \left( \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{R1 + R2} \right) \times R1$$

Напряжение  $V_a$  всегда находится между напряжениями  $V_{in}$  и  $V_{out}$ .

# Делитель напряжения. Аналогия с качелями.



$$V_A = V_{IN} + \left( \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{R1 + R2} \right) \times R1$$

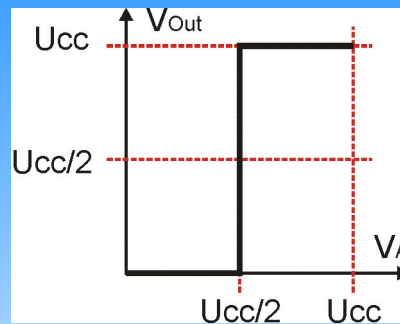
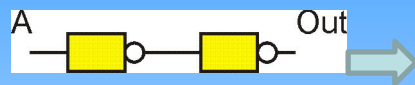


$$H_A = H_{IN} + \left( \frac{H_{OUT} - H_{IN}}{L1 + L2} \right) \times L1$$

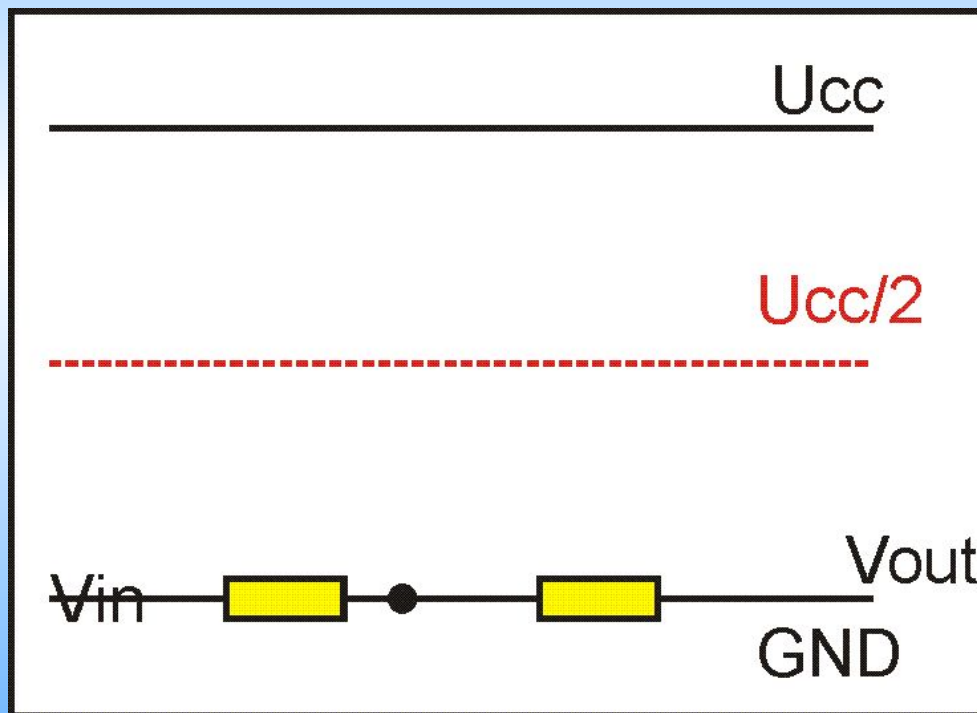
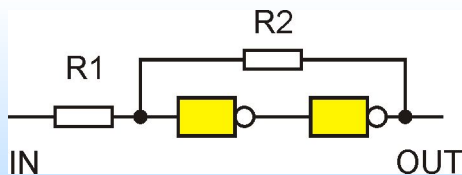


# Триггер Шмитта

Как это работает



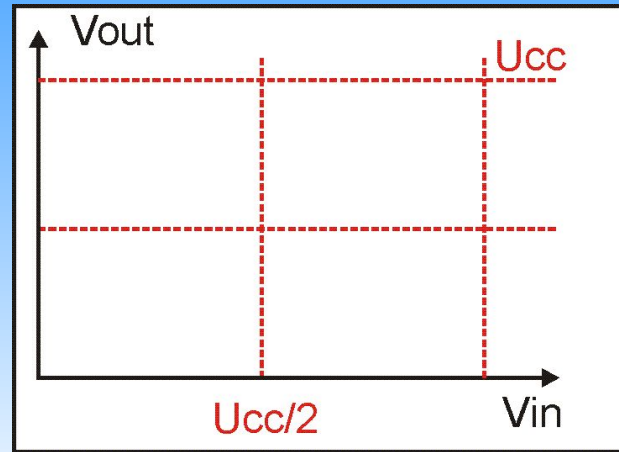
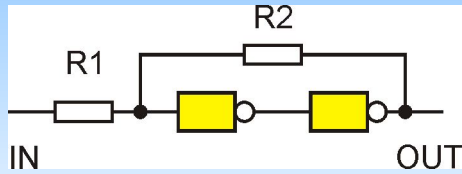
На выходе может быть либо 0, либо 1.



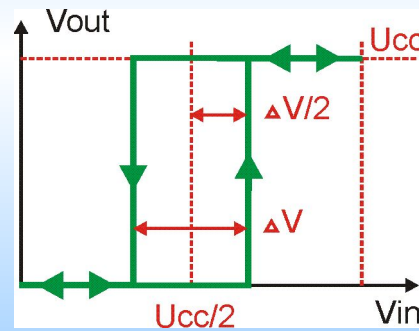
movies

# Триггер Шмитта

## Гистерезис

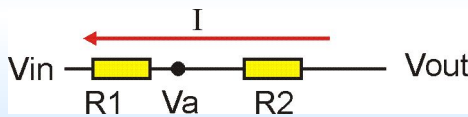
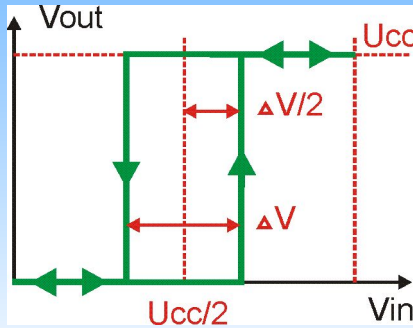
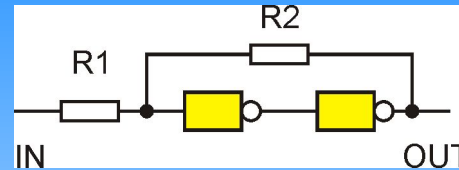


movies



# Триггер Шмитта

Гистерезис.  
Расчет.



В точке переключения

$$\frac{\Delta V}{2} = V_{in} - \frac{U_{cc}}{2} = I \times R1$$

$$I = \frac{U_{cc} - U_{cc}/2}{R2} = \frac{U_{cc}}{2 \times R2}$$

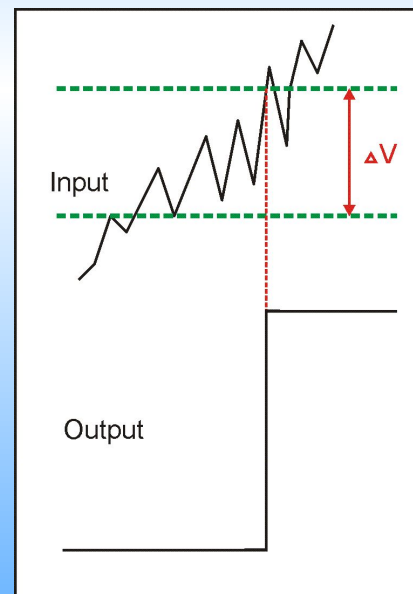
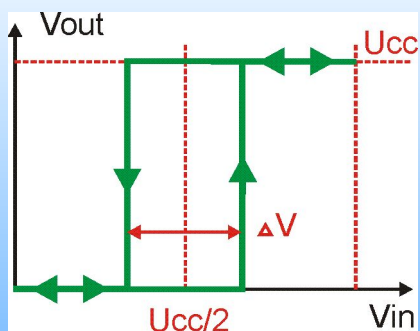
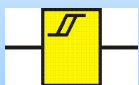
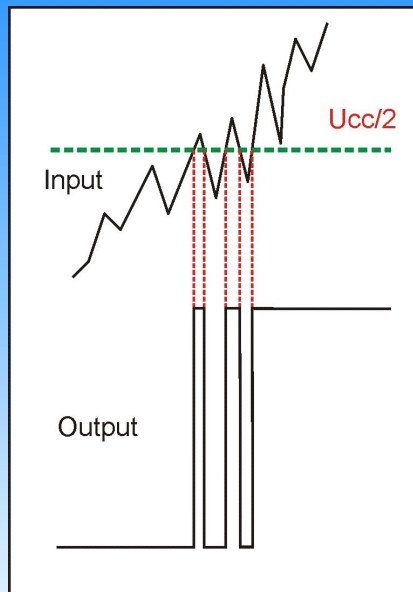
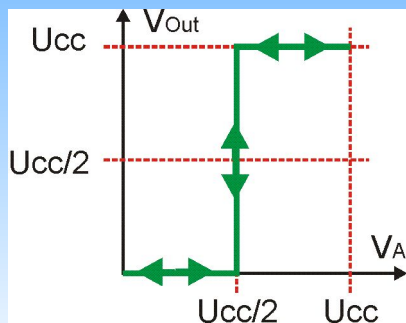
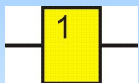
$$\frac{\Delta V}{2} = \frac{U_{cc}}{2} \times \frac{R1}{R2}$$

$$\Delta V = U_{cc} \times \frac{R1}{R2}$$

$$\frac{R1}{R2} < 1$$

# Триггер Шмитта

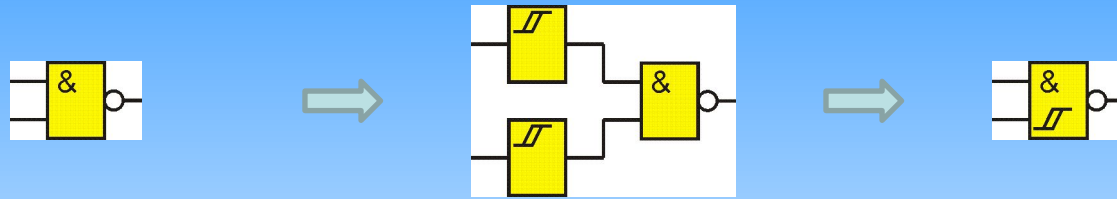
Борьба с шумами (дребезгом).  
Vebouncing



Размах шумовой составляющей должен быть меньше величины гистерезиса.

Дополнительный бонус: обострение фронта.

# Защита входов микросхем



Логическая функция не изменилась.  
Схема стала более устойчива к шумам и затянутым фронтам

Простая логика с триггерами Шмитта на входах

Type	Function	Quantity
74HC14	NOT	6
CD40106	NOT	6
74HC132	2NAND	4
CD4093	2NAND	4

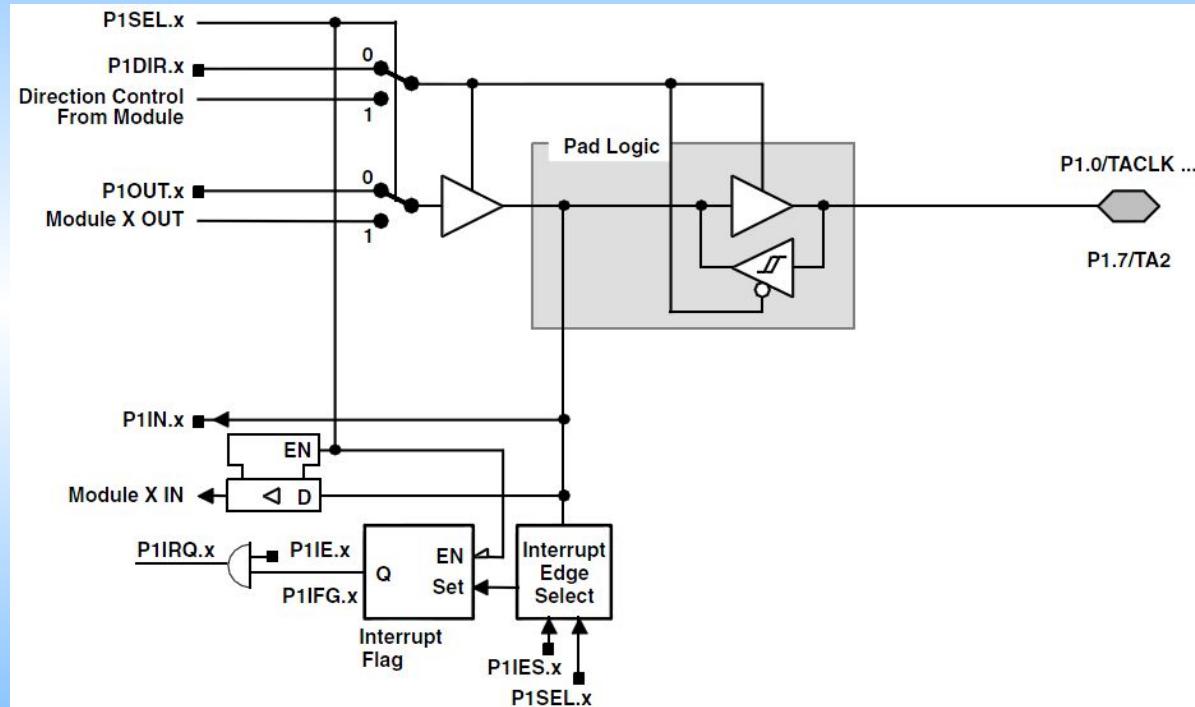
## 74HC14

Symbol	Parameter	Conditions	T <sub>amb</sub> = 25 °C			T <sub>amb</sub> = -40 °C to +85 °C		T <sub>amb</sub> = -40 °C to +125 °C		Unit
			Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	
<b>74HC14</b>										
V <sub>T+</sub>	positive-going threshold voltage	V <sub>CC</sub> = 2.0 V	0.7	1.18	1.5	0.7	1.5	0.7	1.5	V
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V	1.7	2.38	3.15	1.7	3.15	1.7	3.15	V
		V <sub>CC</sub> = 6.0 V	2.1	3.14	4.2	2.1	4.2	2.1	4.2	V
V <sub>T-</sub>	negative-going threshold voltage	V <sub>CC</sub> = 2.0 V	0.3	0.52	0.9	0.3	0.9	0.3	0.9	V
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V	0.9	1.4	2.0	0.9	2.0	0.9	2.0	V
		V <sub>CC</sub> = 6.0 V	1.2	1.89	2.6	1.2	2.6	1.2	2.6	V
V <sub>H</sub>	hysteresis voltage	V <sub>CC</sub> = 2.0 V	0.2	0.66	1.0	0.2	1.0	0.2	1.0	V
		V <sub>CC</sub> = 4.5 V	0.4	0.98	1.4	0.4	1.4	0.4	1.4	V
		V <sub>CC</sub> = 6.0 V	0.6	1.25	1.6	0.6	1.6	0.6	1.6	V

## Защита входов сложных микросхем

### Микроконтроллеры

MSP430



Внешний мир

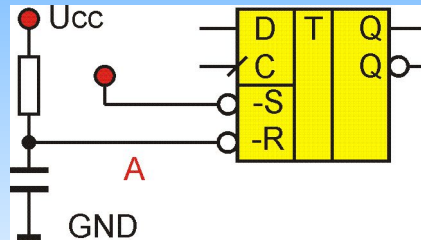




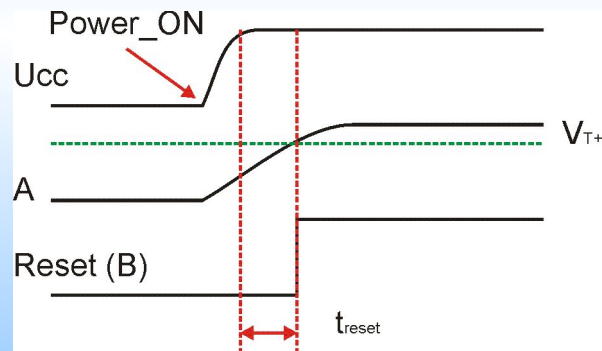
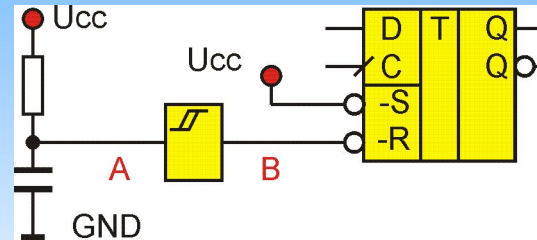
# Применение

## Reset generator

Плохо



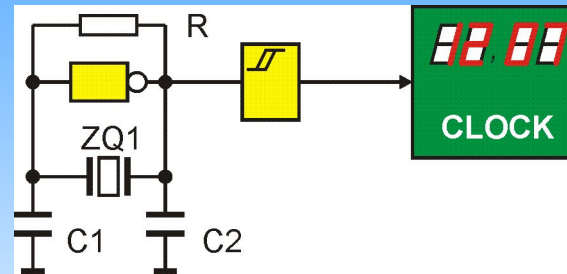
Хорошо



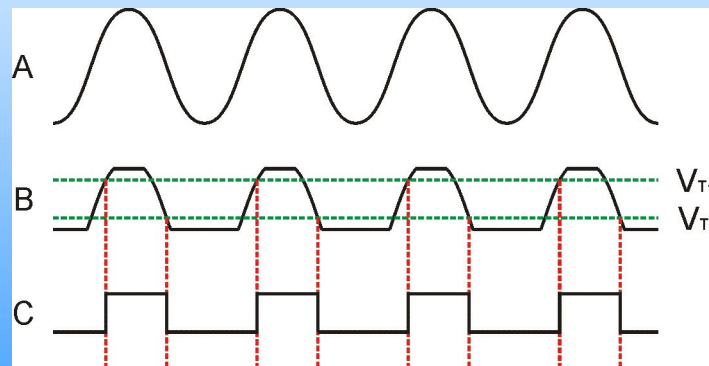
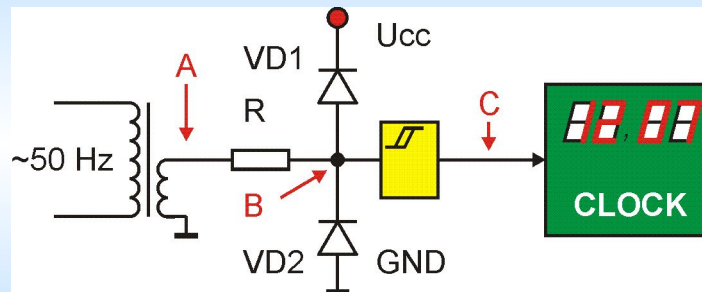
# Применение

## Формирователь прямоугольных импульсов

Правильные часы

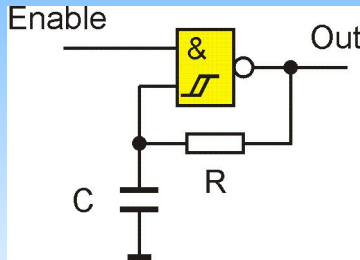


Менее точные часы

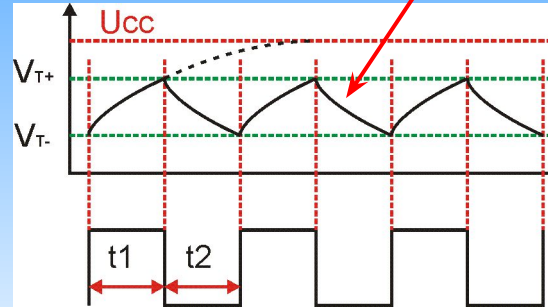


# Применение

## Генератор импульсов Relaxation oscillator



$$T = t1 + t2$$



$$t1 = RC \times \ln \left( \frac{U_{cc} - V_{T-}}{U_{cc} - V_{T+}} \right)$$

$$t2 = RC \times \ln \left( \frac{V_{T+}}{V_{T-}} \right)$$

$$T = RC \times \ln \left( \frac{U_{cc} - V_{T-}}{U_{cc} - V_{T+}} \times \frac{V_{T+}}{V_{T-}} \right)$$

Для микросхемы 74НС14

$R < 10 \text{ M}\Omega$

$$T \approx 0,9 \times RC$$

Для типовых значений

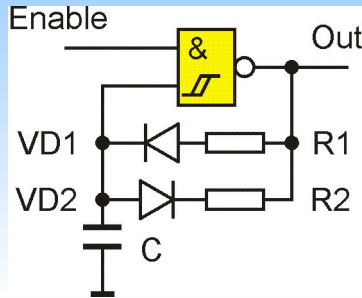
$$T \approx (0,8 \div 1,1) \times RC$$

С учетом разброса

# Применение

## Генератор импульсов 2

Независимая настройка  $t1$  и  $t2$



$$t1 = R1C \times \ln\left(\frac{U_{cc} - V_{T-}}{U_{cc} - V_{T+}}\right)$$

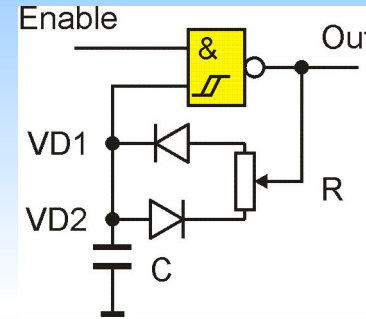
$$t2 = R2C \times \ln\left(\frac{V_{T+}}{V_{T-}}\right)$$

$$T = R1C \times \ln\left(\frac{U_{cc} - V_{T-}}{U_{cc} - V_{T+}}\right) + R2C \times \ln\left(\frac{V_{T+}}{V_{T-}}\right)$$

## PWM Pulse Width Modulation

## ШИМ

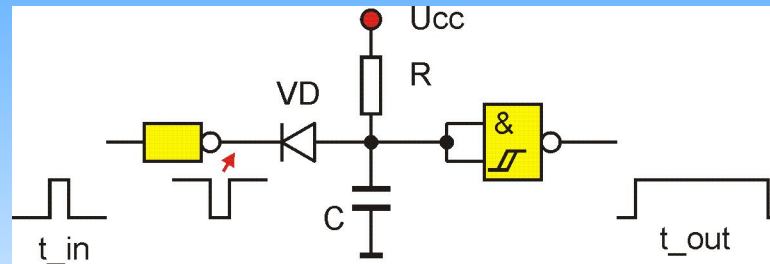
Широтно-импульсная модуляция



$$T = t1 + t2 \approx const$$

# Применение

## Расширитель импульсов Pulse stretcher



$$T = t_{in} + RC \times \ln \left( \frac{U_{cc} - V_{T-}}{U_{cc} - V_{T+}} \right)$$

Необходимо помнить, что при слишком большом конденсаторе может сгореть нижний выходной транзистор инвертора.

$$I_{OUT_0} > \frac{C \times U_{cc}}{t_{in}} + \frac{U_{cc}}{R}$$