

## Импульсный режим работы элементов и устройств

Современные силовая и информационная электроника основана преимущественно на использовании импульсного режима работы элементов и устройств.

**Импульсные устройства** – устройства, предназначенные для генерирования, формирования, преобразования и неискаженной передачи импульсных сигналов (импульсов).

***По сравнению с аналоговыми (изучаемыми ранее) импульсные устройства имеют ряд преимуществ:***

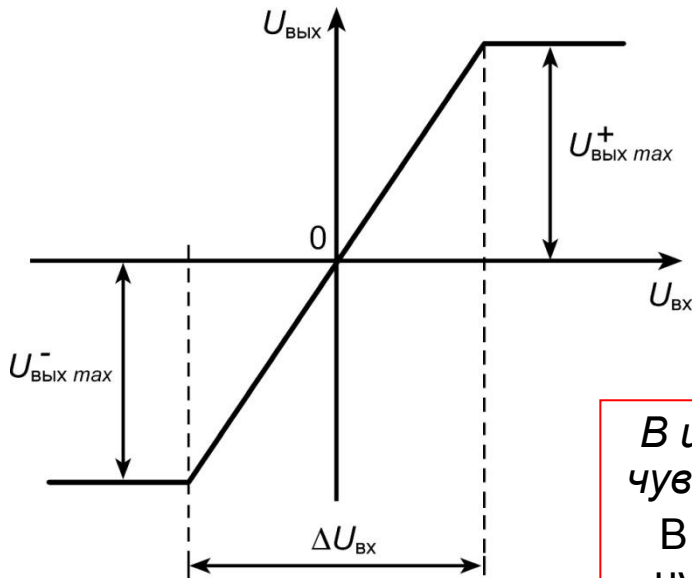
- *сравнительно высокий КПД;*
- *более высокая точность;*
- *меньшая критичность к дестабилизирующим факторам;*
- *бóльшая помехоустойчивость;*
- *относительная простота средств представления информации;*
- *наличие эффективных способов обработки (преобразования) информации;*
- *улучшенные технико-экономические показатели.*

## Компараторы

В импульсном режиме работы выходное напряжение операционного усилителя изменяется скачком и принимает максимальные значения  $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{НАС}}$ , причем знак выходного напряжения задается разностью входных напряжений ОУ ( $U_2 - U_1$ ). Импульсный режим ОУ используется в компараторах.

**Компараторы напряжения** – устройства, предназначенные для сравнения по уровню двух аналоговых сигналов. Результатом сравнения является постоянное напряжение соответствующего знака на выходе: положительное  $+U_{\text{НАС}}$  или отрицательное  $-U_{\text{НАС}}$ .

*Любой ОУ может работать как компаратор, но не из каждого ОУ можно сделать хороший компаратор.*

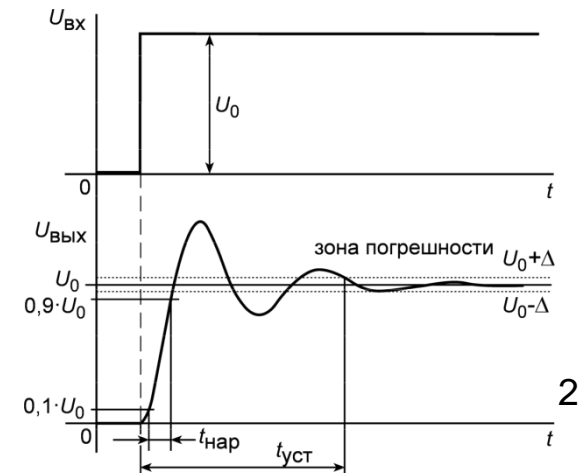


Свойства компаратора определяются параметрами:

1. **Чувствительность** -  $\Delta U_{\text{ВХ}}$  (напряжение необходимое для полного переключения);
2. **Быстродействие** – скорость переключения из одного состояния в другое (оценивается задержкой срабатывания  $t_{\text{зад}}$  и временем нарастания выходного напряжения  $t_{\text{нар}}$ ).

*В идеальном компараторе чувствительность  $\Delta U_{\text{ВХ}} = 0!$   
В реальном компараторе чувствительность  $\Delta U_{\text{ВХ}} \neq 0$*

Для данного рисунка: 
$$\Delta U_{\text{ВХ}} = \frac{2U_{\text{НАС}}}{A}$$



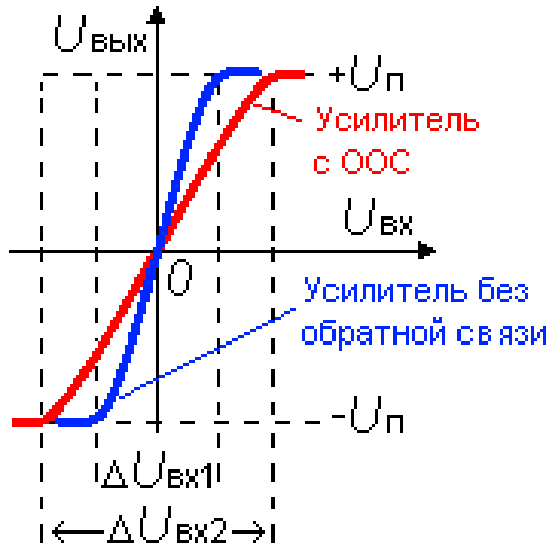
## Компараторы

### Введение отрицательной обратной связи (ООС) в компараторах недопустимо!

поскольку она снижает его чувствительность  $\Delta U_{\text{вх}}$  (ООС снижает коэффициент усиления и  $\Rightarrow$  увеличивается наклон амплитудной характеристики усилителя).

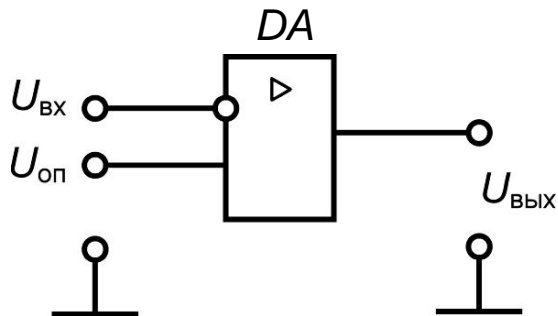
Если наклон амплитудной характеристики будет большой, то компаратор будет медленнее переключаться, а выходное напряжение в процессе переключения будет представлять  $(U_2 - U_1) \cdot K_U$ .

Таким образом, конечная чувствительность ведёт к увеличению времени переключения, т.е. снижению быстродействия.



Амплитудные характеристики ОУ при наличии и отсутствии ООС.  $\Delta U_{\text{ВХ1}} < \Delta U_{\text{ВХ2}}$

Компаратор применяется для сравнения сигналов.



Компаратор на ОУ

Входное напряжение ( $U_{\text{ВХ}}$ ) сравнивается с опорным напряжением ( $U_{\text{ОП}}$ ).

В частном случае  $U_{\text{ОП}} = 0$ .

## Компараторы

### Принцип действия компаратора

Пусть оба напряжения  $U_{\text{ВХ}}$  и  $U_{\text{ОП}}$  положительны.  
Для ОУ справедливо соотношение:

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_{\text{ОП}} - U_{\text{ВХ}}) \cdot A$$

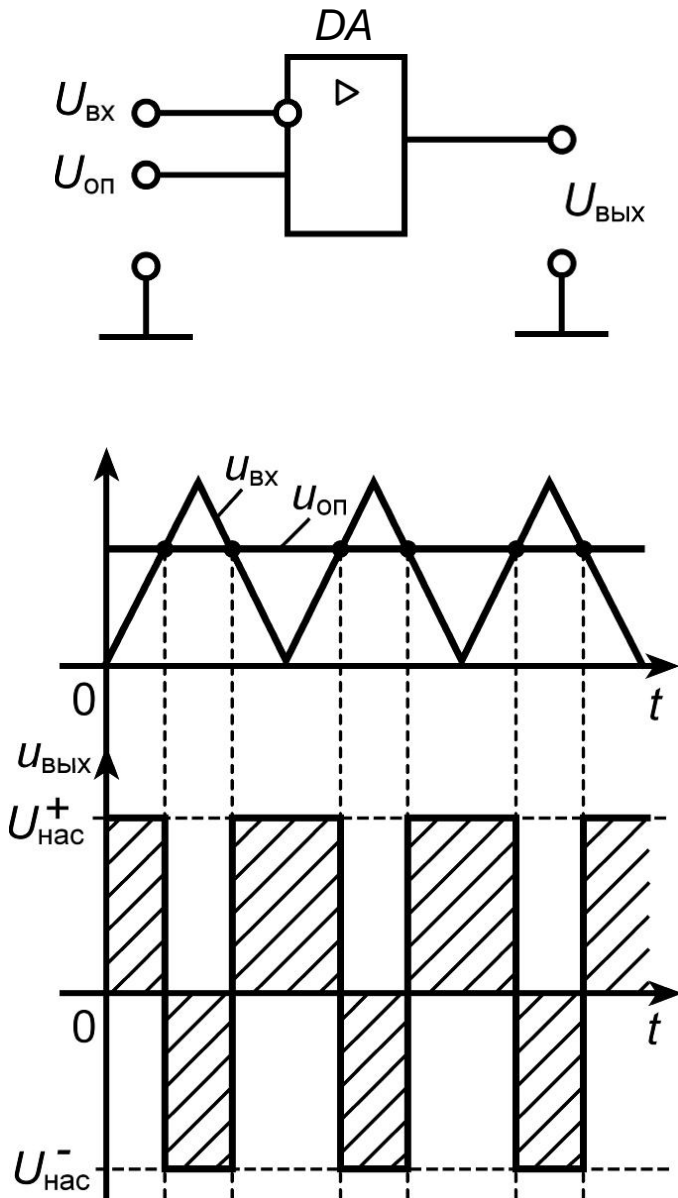
если  $U_{\text{ОП}} > U_{\text{ВХ}}$ , то  $U_{\text{ВЫХ}} = +U_{\text{НАС}}$  – положительно;

если  $U_{\text{ОП}} < U_{\text{ВХ}}$ , то  $U_{\text{ВЫХ}} = -U_{\text{НАС}}$  – отрицательно.

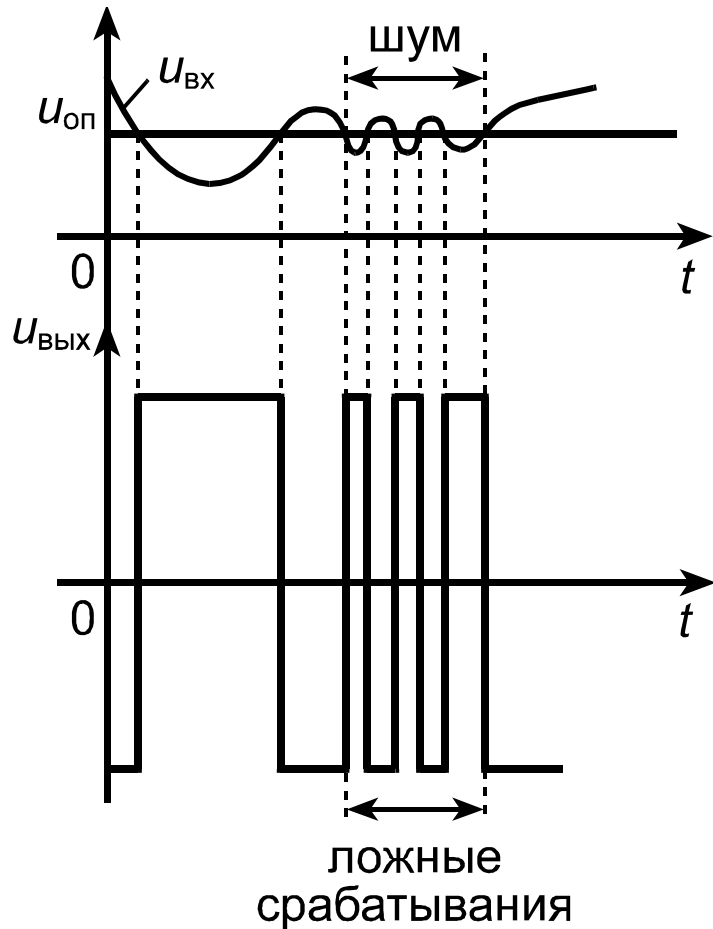
← Именно это видно на рисунке.

Данный компаратор имеет недостаток –  
**дребезг компаратора!**

**Дребезг компаратора** – ложные срабатывания компаратора имеют место в том случае, если входное напряжение зашумлено или медленно подходит к порогу срабатывания (подходит к  $U_{\text{ОП}}$  с низкой скоростью).

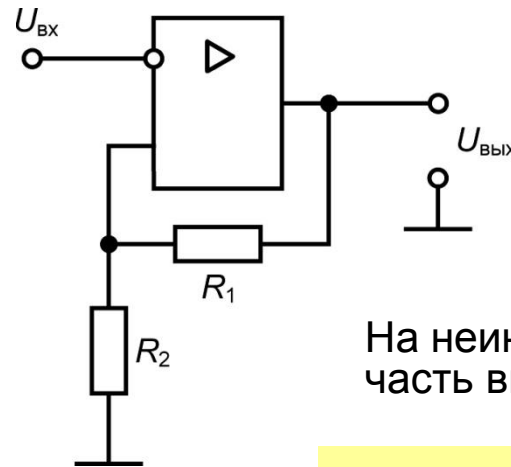


## Компараторы



Пример ложных срабатываний компаратора, обусловленных зашумленностью входного сигнала

Избавиться от дребезга можно введением положительной обратной связи (ПОС).



ПОС организована с помощью резистивного делителя  $R_1, R_2$ .

На неинвертирующий вход подается часть выходного напряжения

$$U^+ = U_{R2} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \beta \cdot U_{\text{ВЫХ}} = \beta \cdot U_{\text{нас}}$$

с коэффициентом передачи  $\beta$  (коэфф. передачи цепи ПОС или коэфф. деления делителя).

Входное напряжение сравнивается с сигналом обратной связи (например, для положительного напряжения)

$$U_{\text{ОС}} = U_{R2} = U^+ = \beta \cdot U_{\text{нас}}$$

Знак напряжения на неинв. входе полностью зависит от полярности выходного напряжения.

# Компараторы

## Принцип действия компаратора с ПОС по амплитудной (передаточной) характеристике

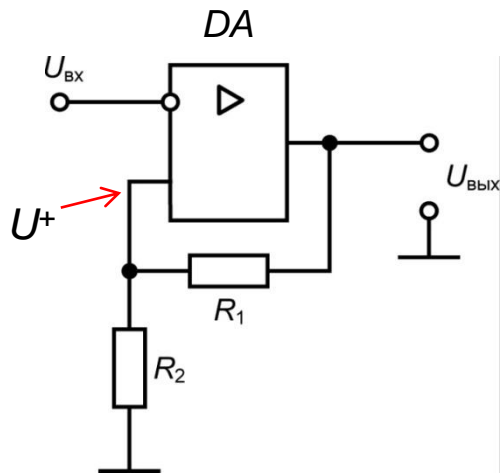
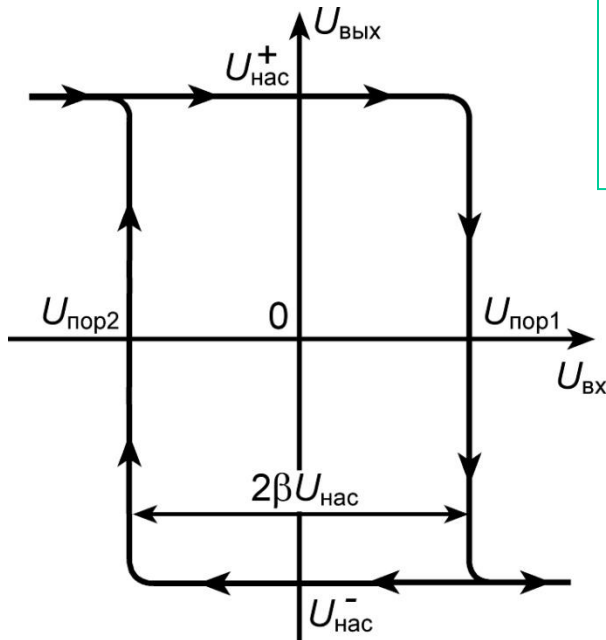


Схема компаратора с ПОС



Амплитудная х-ка компаратора с ПОС

Пусть в исходном состоянии при  $U_{вх} = 0$  на выходе компаратора положительное напряжение  $U_{нас}^+$ .

Тогда на неинв. входе:  $U^+ = \beta \cdot U_{нас}^+ = U_{пор1}$ .

При достижении входным напряжением  $U_{вх}$  порогового напряжения  $U_{пор1}$  происходит срабатывание компаратора и напряжение на его выходе скачком меняется на отрицательное  $U_{нас}^-$ . На неинв. входе:  $U^+ = (-)\beta \cdot U_{нас}^- = U_{пор2}$ .

Возвращение компаратора в исходное состояние происходит при снижении  $U_{вх}$  до уровня  $U_{пор2}$ .

Амплитудная характеристика является прямоугольной и получила название **петли гистерезиса**, где ширина петли равна  $2 \cdot \beta \cdot U_{нас}$ .

Если  $U_{пор}$  превышает амплитуду шумов, то ПОС не допустит дребезга. (возвращаясь к слайду 5).

Введение гистерезиса исключает ложное срабатывание компаратора, но при этом возникает временная задержка по сравнению с идеальным компаратором.

Чем больше ширина петли гистерезиса, тем больше временная задержка. Поэтому необходимо обеспечивать наименьшую ширину петли гистерезиса, а, следовательно, наименьшую временную задержку.

Данная схема известна под названием триггер Шмидта.

Специализированные ИМС компараторов имеют встроенную ПОС (гистерезис).

# Компараторы

В настоящее время созданы специальные интегральные схемы компараторов, отличающиеся от ОУ: высокой скоростью переключения, малым напряжением смещения, малыми входными токами, высокой устойчивостью к самовозбуждению.

## Классификация компараторов

### Общего применения

средние показатели по чувствительности и быстродействию – К521СА2, К521СА5 ( $I_{\text{пот}}$  = единицы – десятки мА)

### Прецизионные

высокая чувствительность, но хуже быстродействие – К521СА3, К527СА3 ( $t_{\text{пер}}$  = дес. – сотни нс,  $I_{\text{вх}}$  = дес. – сотни нА)

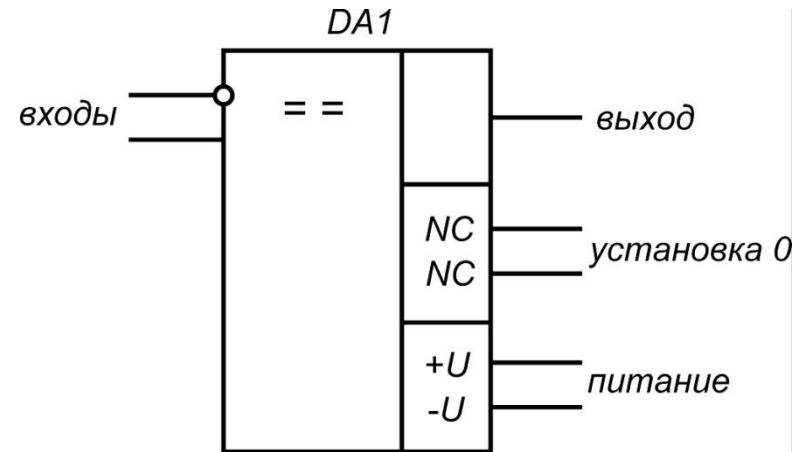
### Быстродействующие

высокая скорость переключения ( $t_{\text{пер}}$  = единицы нс), чувствительность хуже, большие входные токи ( $I_{\text{вх}}$  = тысячи – дес. тысяч нА) – К597СА1, К597СА2

### Микромощные

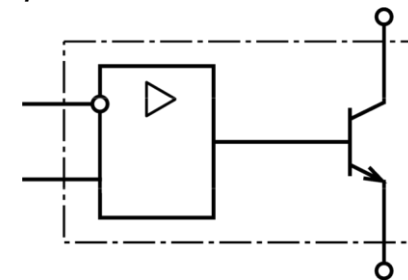
специализированные компараторы для работы с цифровыми ИМС, у них  $U_{\text{ввых}} > 0$ , уровни напряжений согласованы, малый ток потребления ( $I_{\text{пот}}$  = ед. – дес. мкА)

**К521СА3:**  $I_{\text{пот}} = 5 \text{ мА}$ ;  $K_U = 150000$ ;  $t_{\text{пер}} = 300 \text{ нс}$ ;  
 $I_{\text{ввых макс}} = 50 \text{ мА}$ ;  $I_{\text{вх}} = 0,4 \text{ мкА}$ .

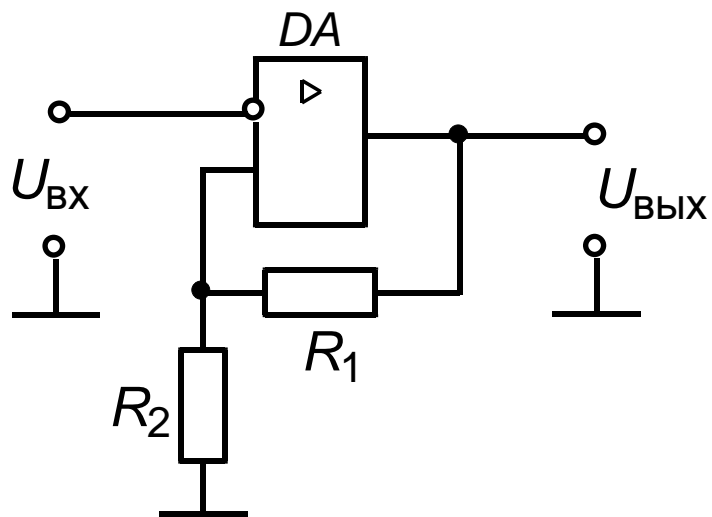


Условное графическое обозначение компаратора и назначение выводов

Встречаются схемы компараторов с открытым коллектором/эмиттером, например, К521СА3



## Задания для самопроверки



Определить величину входного напряжения, при котором происходит срабатывание (опрокидывание) компаратора.

Известно:  $U_{нас} = \pm 12В$ ;  $R_1 = 1М$ ;  $R_2 = 100к$ .



## Ссылки

---

1. [www.chipdip.ru](http://www.chipdip.ru)
2. [www.youtube.com](http://www.youtube.com)
3. [www.analog.com](http://www.analog.com)
4. [www.ti.com](http://www.ti.com)
5. [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com)
6. [www.intersil.com](http://www.intersil.com)
7. [www.analog.com](http://www.analog.com)
8. Фолкенберри Л. Применения операционных усилителей и линейных ИС: Пер. с англ.- М.: Мир, 1985.-572 с., ил.
9. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов — Москва: Альянс, 2013. — 496 с.