### ЭЛЕКТРОНИКА

Яблоков Евгений Николаевич

Telegram: @Kabal\_master

Лекции были абсолютно честно украдены

# Простейшие элементы элемных схем

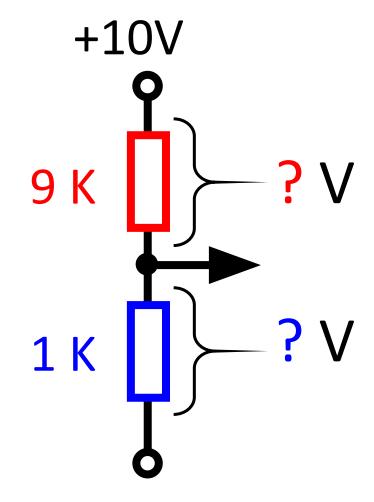
#### <u>PE3ИСТОР</u> – простейший элемент электронных

**CXEM** 

Пример

Отве

T:



Ток: 1мА

#### Основные характеристики:

- **Сопротивление**: определяется ГОСТами, для 2%-ой точности задают ряды возможных значений сопротивления, например, 5 и 3, 6 и 3, и т.д.
- **Точность:** для 1%-ой точности ряд <u>более частый</u>, чем для 2%-ой

Чем **выше** точность, тем **чаще расположены** значения сопротивления

Номиналы выбираются из *стандартных рядов* (E4, E5, E6, ...)

Чем выше точность, тем больше возможных значений сопротивлений резисторов

Например: для точности 20% - Е6 всего 6 номиналов + расширения приставками (кило, мега и т.д.)

Для точности 5% - 24 значения; 18.02.2021

#### Температурный коэффициент: ТКС

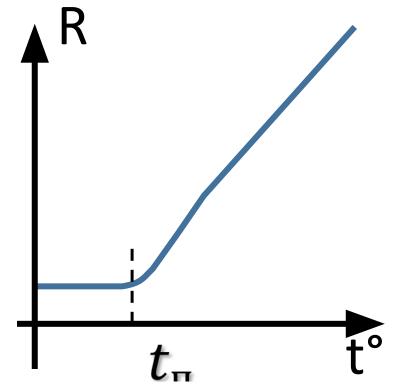
Изменение сопротивления резистора с изменением температуры

	типы резисторов			
	ТЕРМОСТАБИЛЬН ЫЕ	TEPMИСТОР Ы (TKC<0)	ПОЗИСТОРЫ (TKC>0)	
	При изменении	ТЕРМОЗАВИСИМЫ		
	температуры слабо реагирует Относительно	- сопротивление резистора уменьшается с ростом температуры	- с ростом температуры сопротивление резистора растёт	
	стабильные	<b>NTC</b> - Negative Temperature	<b>PTC</b> - Positive Temperature	
18	характеристики	Coefficient		

#### Позисторы

Использование: Позисторы широко используются

качестве самовосстанавливающихся предохранителей



В начале сопротивление близко к нулю

#### Эффект обратной связи

 $oldsymbol{t}_\Pi$  – пороговая температура

**Время срабатывания** – доли секунды (миллисекунды – 0,5 секунды)

- **Минусы:** Долгое время срабатывания; для возврата в исходное состояние нужно снизить ток до величины ниже некоторого порога.
- · Позисторы <u>отдают тепло элементам системы</u>.
- · Плохо реагируют на <u>частые включения/выключения</u>.
- · Переходные процессы: 5-15 секунд. Восстановление зависит
- 18.02.2020го, как именно позистор впаян в схему.

#### Позисторы

#### Рассеиваемая мощность:

$$P = I \cdot U$$

Мощность – произведение силы тока на напряжение  $\lceil P \rceil = 1 \; \mathrm{BT}$ 

$$[P] = 1 BT$$

Выделенное тепло расходуется в трёх направлениях:

- излучение (свечение)
- **нагревание воздуха** (конвекция рассеивание тепла)
- отдача лишнего **тепла в платы**, так как элементы впаяны

Если тепло рассеивается медленно, то резистор нагревается, хорошие резисторы – РЕБРИСТЫЕ

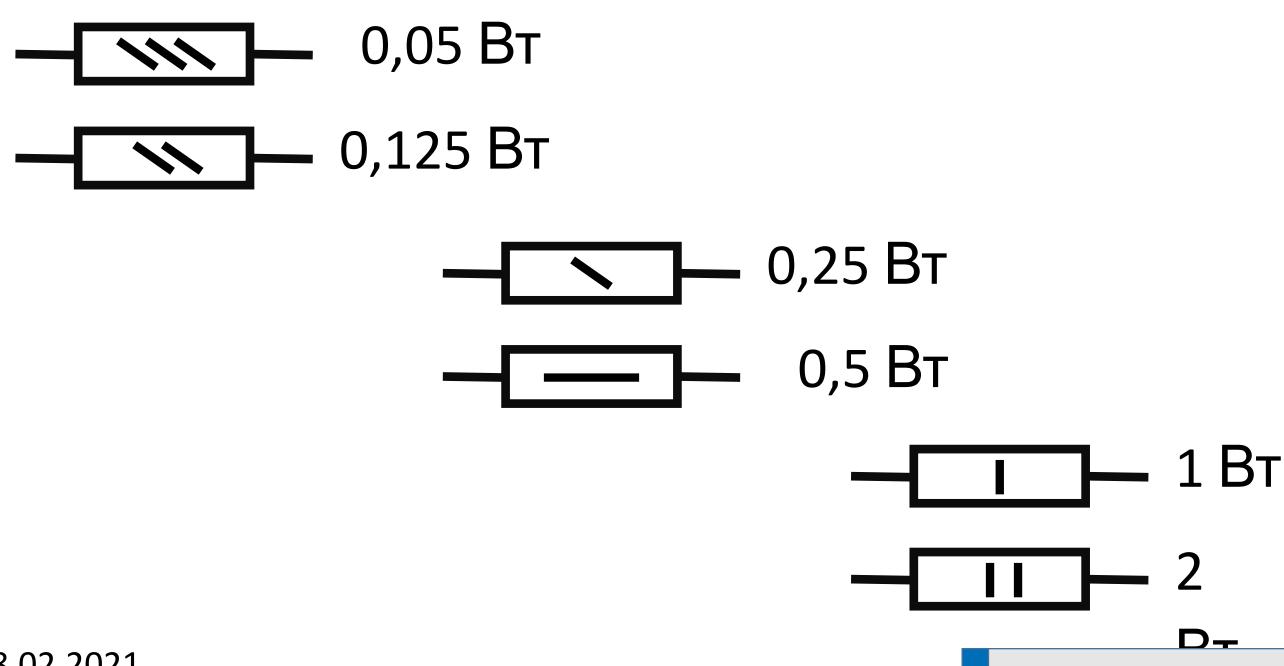
Максимальная рассеиваемая мощность выбирается из ряда, который опр. **FOCT:** 

Стандартный ряд возможных максимальных значений

18 02 PO214 H L IV. 0 125\_10 (RT)

#### ОБОЗНАЧЕНИЯ:

R15 – это не номинал, а номер по порядку в схеме



18.02.2021

#### 5) Способ монтажа:



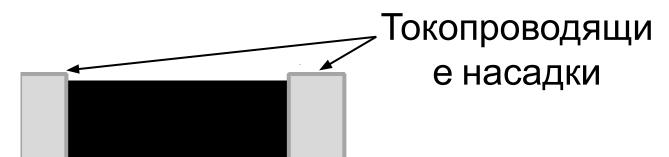
• Выводные резисторы: из тела резистора торчат провода Предназначен для пайки в отверстие.

#### Минус:

 Необходимость в ФОРМОВКЕ – придании нужной формы (выгибание)

Применяются в мощных схемах с большим выделением тепла

#### 5) Способ монтажа:



• Резисторы для поверхностного монтажа: SMD – резисторы

Применяются в телефонах

#### Достоинства:

- · Удобство монтажа, особенно автоматического монтажа (наносят пасту, раскладывают резисторы, в печь, готово)
- Более популярны, вытесняют выводные, которые нужны для мощных установок с необходимостью вывода тепла.
- В случае несимметричной расстановки на плату при плавлении **ФЛЮСА** (кусочки олова) SMD-резисторы выстраиваются за счёт силы поверхностного натяжения олова **ПРОЦЕСС**

18.02.2**ЦЕНТРОВКИ** 

#### ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- РАЗМЕРЫ (ГАРАБИТЫ)
- ТОЧНОСТЬ (1-5%)

Существуют классификации по форм-фактору (типоразмеру).

F	Размер	начно опреде	еляют максималь	ную рассеиваем	ую мощность. <b>04 02</b> – размеры
	0402	1.0	0.5	0.35	в дюймах (западная
	0603	1.6	0.85	0.45	размерность)
	0805	2.1	1.3	0.5	
	1206	3.1	1.6	0.55	
	2010	5	2.5	0.55	

ОБОЗНАЧЕНИЕ НОМИНАЛОВ ВЫВОДНЫХ РЕЗИСТОРОВ. СИСТЕМЫ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Системы обозначений Резистор с 4 цветными

HG

1) При помощи **ЦВЕТНОГО КОДА**:

На теле резистора рисуют несколько цветных колечек, их наличие – величина в кОм. Используя специальные таблицы комбинацию цветных колец переводят в числовое значение сопротивления резистора

	0	1	
1	1	10	±1%
2	2	100	<b>±2%</b>
3	3	1000	±3%
4	4	10000	±4%
5	5	100000	±0.5%
6	6	1M	±0.25%
7	7	10M	±0.10%
8	8	100M	±0.05%
		+10	±5%
		+100	±10%

чёрны коричневы й красны оранжевы жёлты зелёны Й СИНИ фиолетовы серы белы й золото серебряны

(В России эта система не

18.02.2021

#### Системы обозначений

#### 2) С помощью символов

#### RKM:

мегаОм	
Ы	
МОм	
килоОм	
Ы	
кОм	
Ом	

ПРИМЕРЫ:		
120 M	-	120 МОм
2M2	-	2,2 МОм
M92	_	0,92 МОм
56K	-	56 кОм
5K4	-	5,4 кОм
K82	-	0,82 кОм
12R	-	12 Ом
1R2	-	1,2 Ом
R	_	1 Ом

#### Обозначение номиналов на SMDрезисторах

#### 3) Цифровое обозначение:

Последняя цифра в данном обозначении на корпусе SMDрезистора означает **количество нулей,** которые надо приписать к первым цифрам обозначения, чтобы получить номинал в Омах.

$$513 - 51 κOm - 51 Κ (51 · 103)$$
 $510 - 51 Om - 51 Ω (51 · 100)$ 
 $126 - 12 MOm - 12 Μ (12 · 106)$ 

В этом случае обозначении иногда используется буква **R** в качестве **точки,** при обозначении резисторов малого номинала

#### Обозначение номиналов на SMDрезисторах

#### 4) БУКВЕННО-ЦИФРОВОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ:

В электронике наблюдается тенденция к увеличению точности ( $\geq 1\%$ ) резисторов: количество значащих цифр слишком большое, резисторы же наоборот становятся всё меньше (мельче типа 0603)

РЕШЕНИЕ: использование БУКВ и ЦИРФ

ТИПИЧНО: 2 цифры, 1 буква

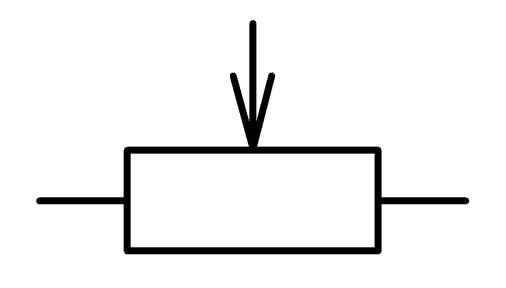
Для расшифровки необходимы специальные таблицы

**ПРИМЕР**: 10C - 10- код мантиссы; C- порядок 10 соответствует 124, C- соответствует 2 Имеем:  $124 \cdot 10^2$ 

# РАЗНОВИДНОСТИ РЕЗИСТОРОВ

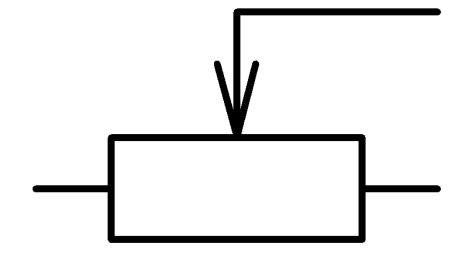
#### Разновидности резисторов

#### 1) ПЕРЕМННЫЕ РЕЗИСТОРЫ:



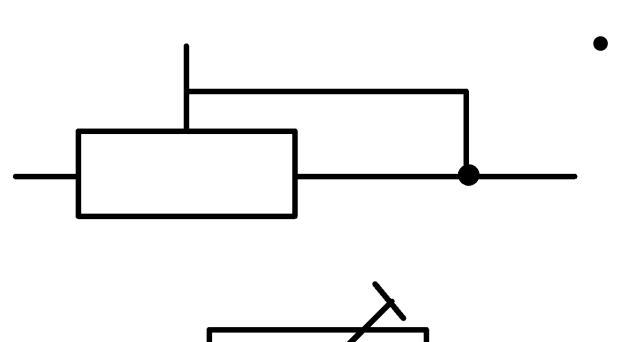


- Приёмники, радио с крутящимися ручками
- Потенциометр



#### Разновидности резисторов

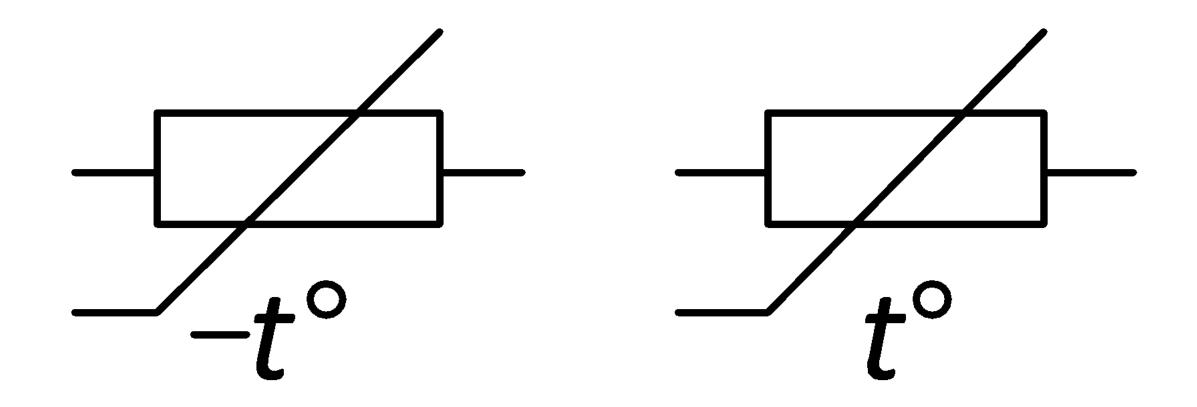
#### 2) ПОДСТРОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ:



- Применяются при настройке прибора, нет постоянной возможности изменять (крутить) без использования отвёртки
- При смещении ползунка
- После настройки ФФКСиру Адеем, лаком или мастикой.
- Не для постоянного подстраивания

#### Разновидности резисторов

#### 3) ТЕРМИСТОР, ПОЗИСТОР



• Сопротивление резистора зависит от температуры

# КОНДЕНСАТОРЫ

#### Конденсаторы

Формулы для соединений

конденсаторов Последовательн oe Параллельное

#### Конденсаторы

#### Бывают <u>выводные</u> и <u>SMD</u>

**Выводные**: дисковые, трубчатые, с редкоземельными металлами (тантал)

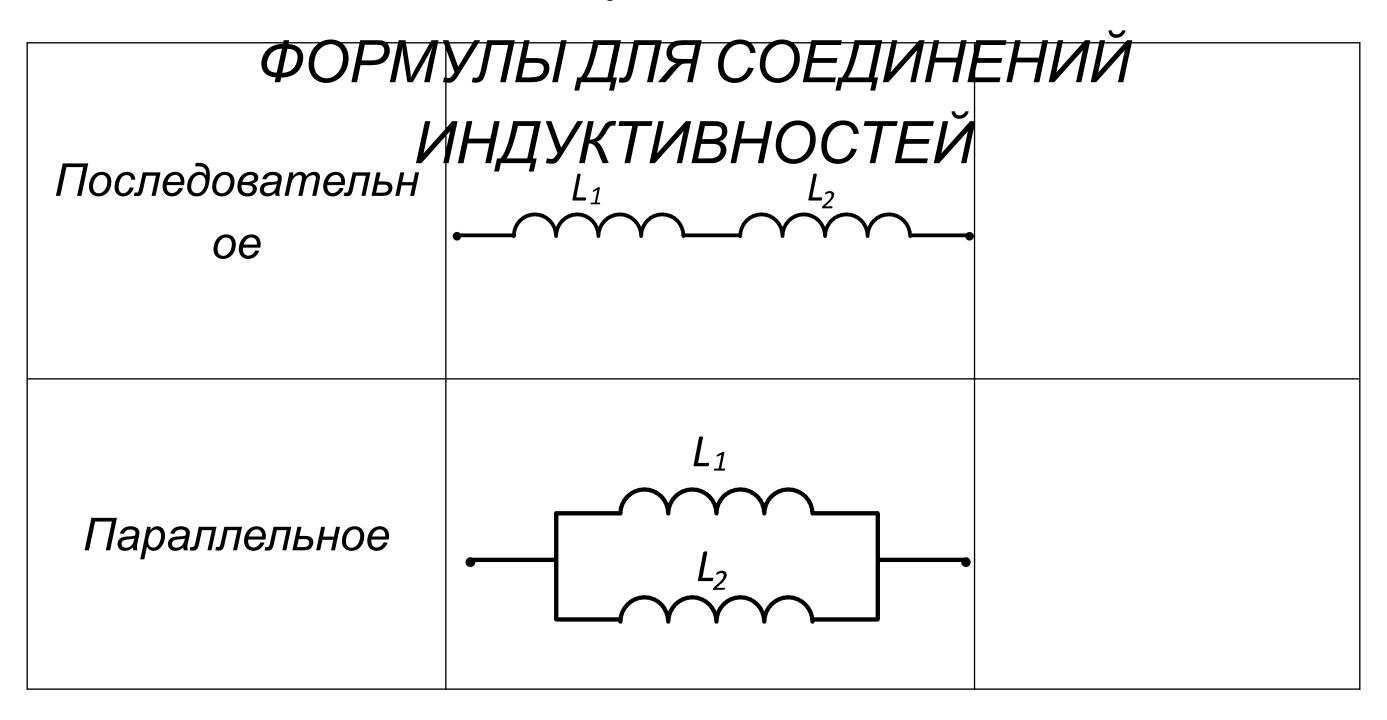
**SMD-конденсаторы**: В отличие от SMDрезисторов на SMD-конденсаторах **нет никаких обозначений** 

Единственный способ измерения ёмкости: впаять в схему и измерить прибором

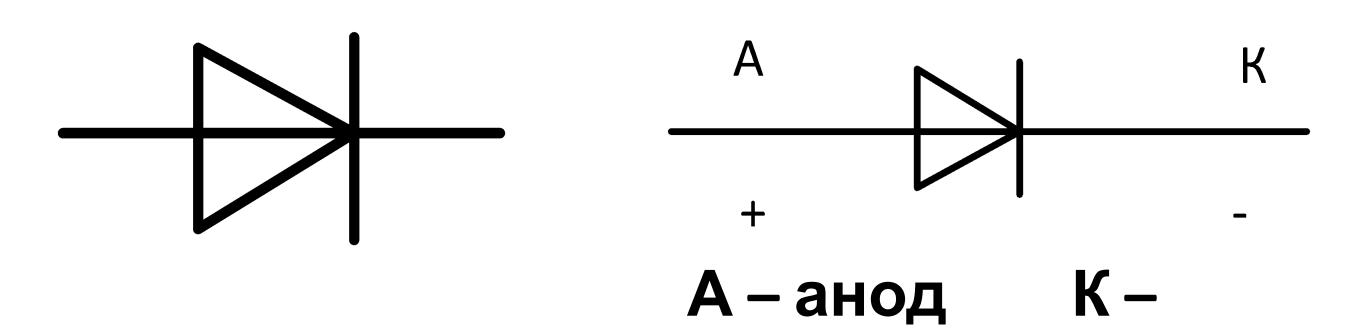
## ИНДУКТИВНОСТИ

#### Индуктивности

Огромное число разновидностей + различные сердечники



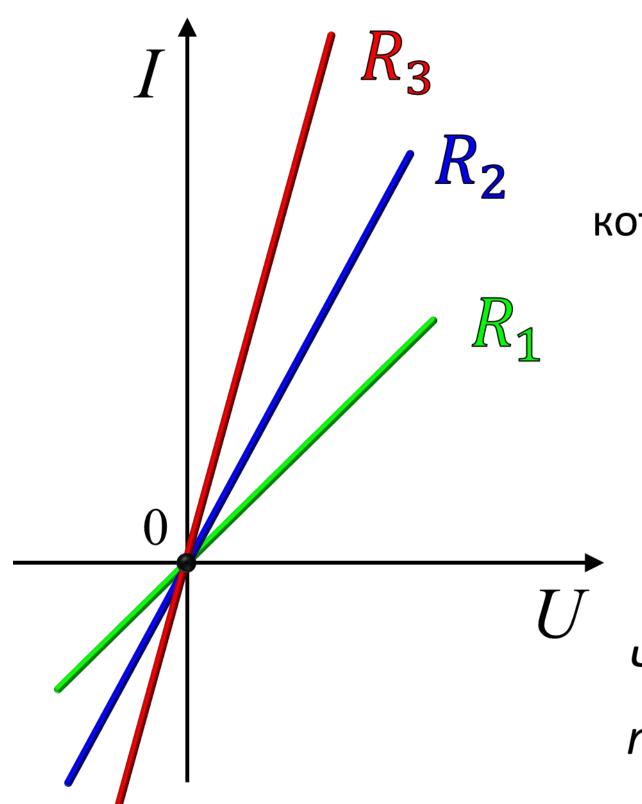
# ПОЛУПРОВОДНИКОВ ЫЙ ДИОД



Данный прибор обладает одноствонней проводимостью, для того, чтобы ток потёк через диод необходимо подать на анод положительное напряжение относительно катода

В случае подачи обратного напряжения (для идеальной теоретической модели), на самом деле течёт небольшой ток утечки, который меняется в зависимости от условий:

С ростом температуры растёт ток утечки:  $t^{\circ} \uparrow \Rightarrow I_{\text{учетки}} \uparrow$ 



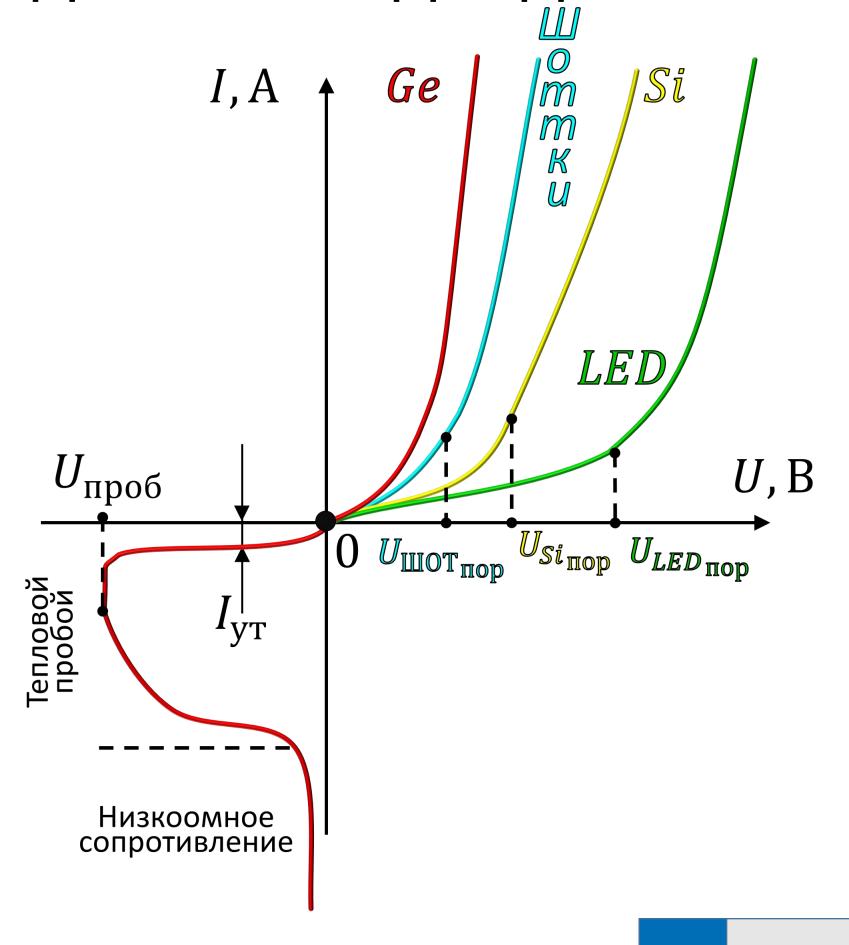
ВАХ: вольтамперная

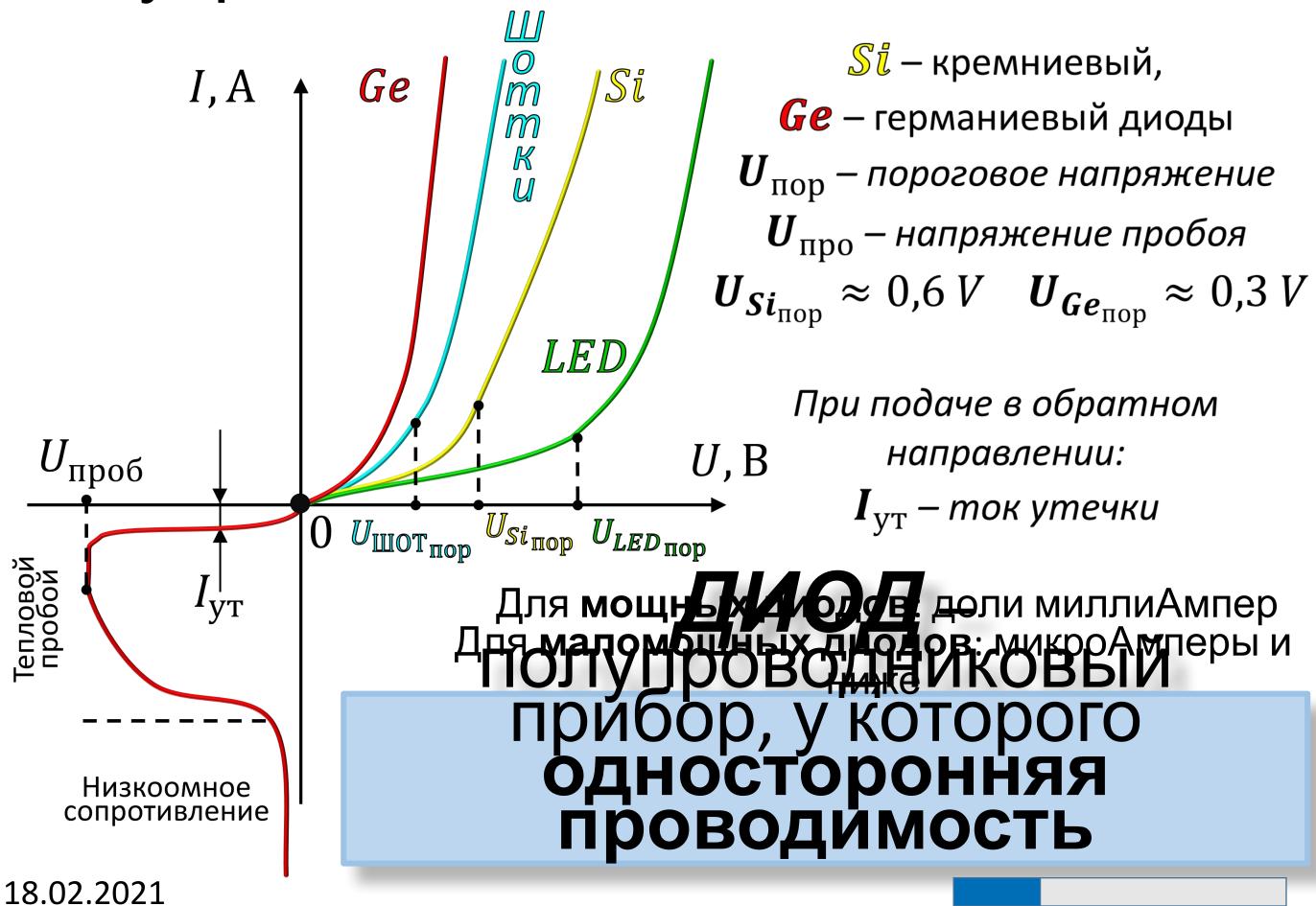
характеристика - график, у которого на абсцисс оси — ВОЛЬТЫ, а по оси ординат - АМПЕРЫ

#### ЗАВИСИМОСТЬ:

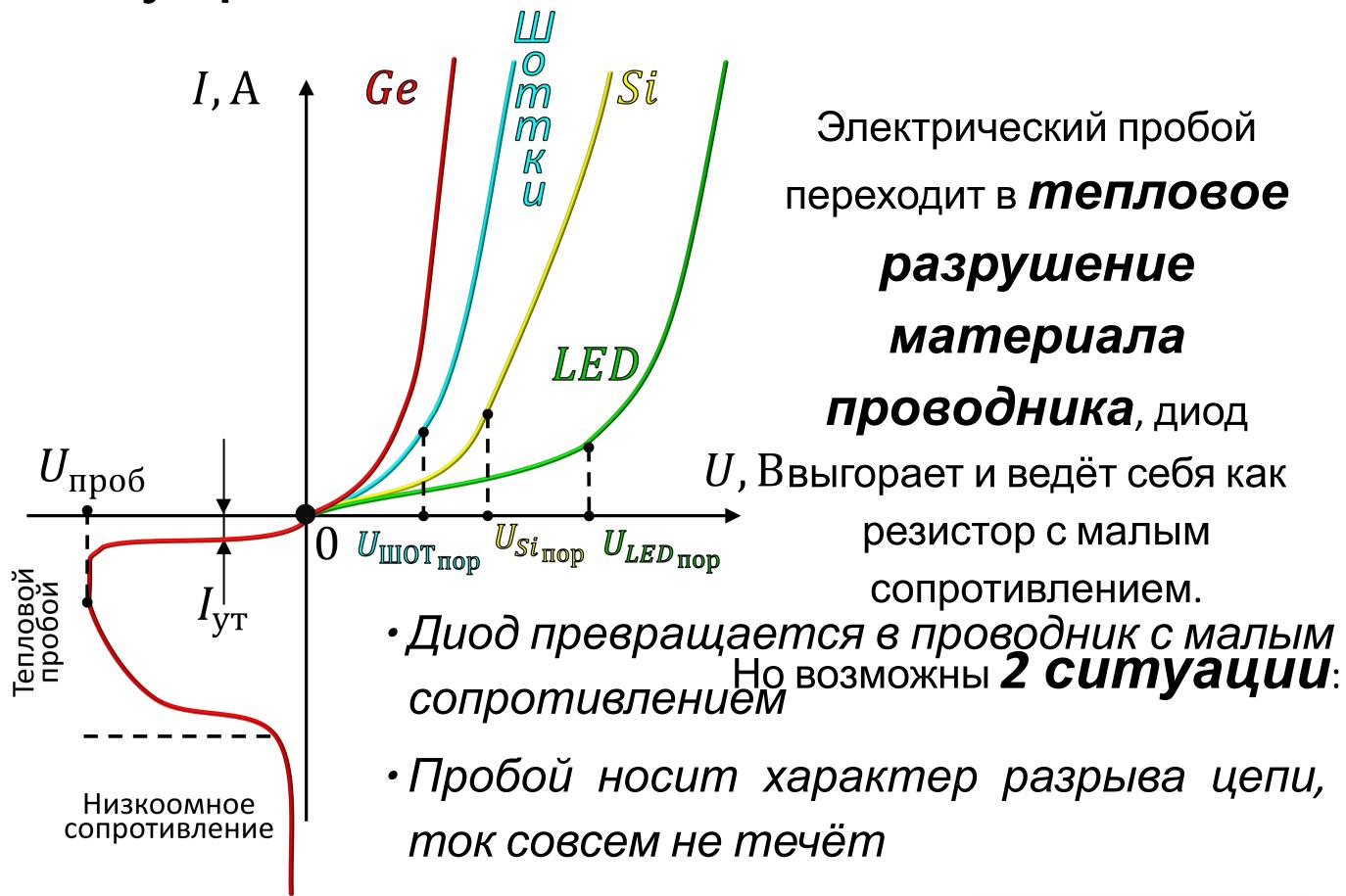
$$R_1 > R_2 > R_3$$

Чем **меньше сопротивление**, тем **меньшим напряжением** достигается **больший ток** 

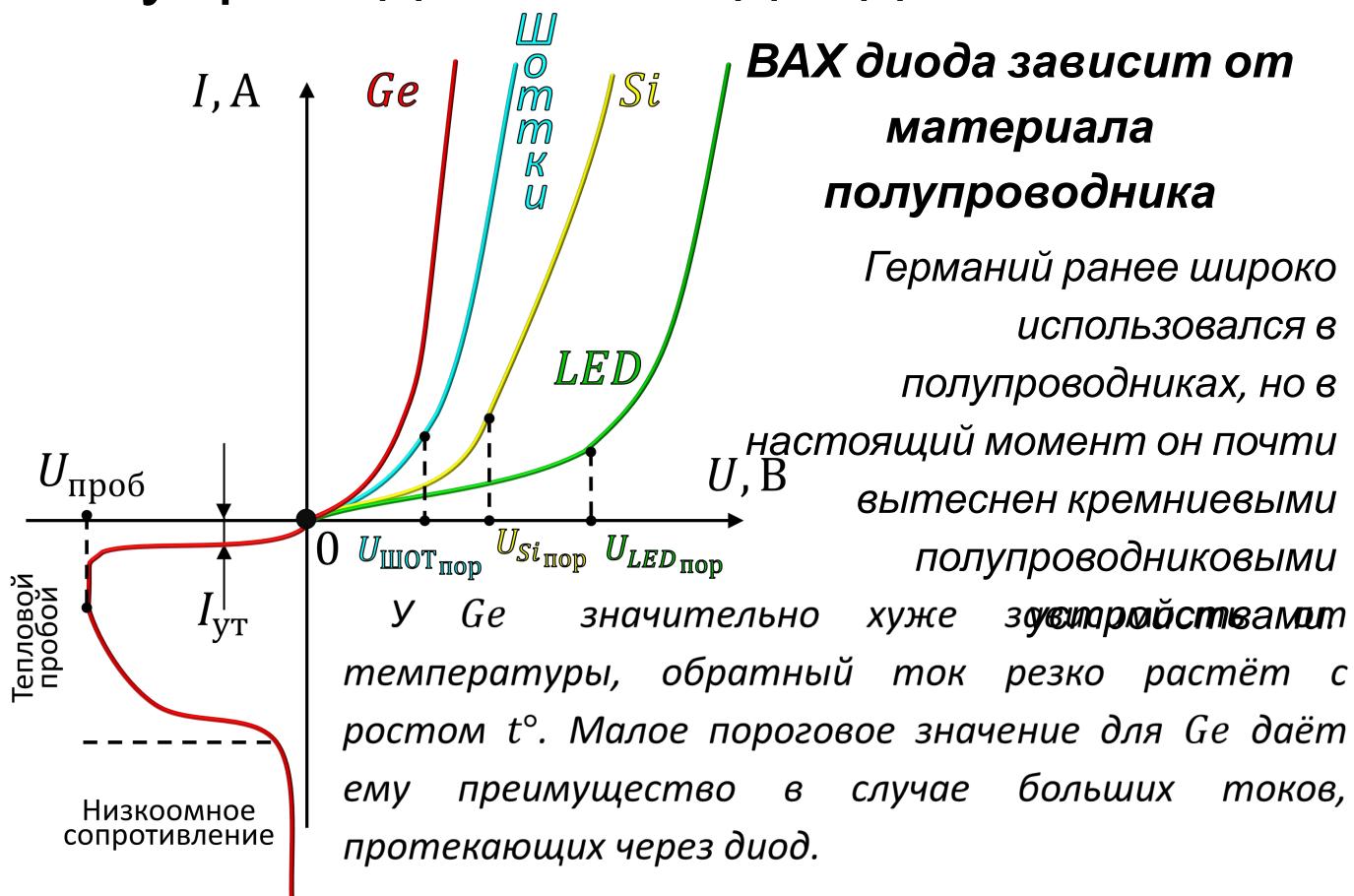




18.02.2021



18.02.2021



**Мощность**, выделяемая на диоде:

$$P_D = U_D \cdot I_D$$

 $U_D$  для Si значительно больше  $U_D$  для Ge (примерно в два раза)

Из этого следует, что КПД Ge диода может быть значительно лучше (до двух раз), чем КПД Si, так как Si-диод в 2 раза больше греется

Существует технология изготовления Si-диодов с пороговым напряжение менее 0,6V

# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ

#### Основные характеристики диодов

- 1) Максимальный прямой ток через диод
- 2) Зависимость напряжения на диоде от протекающего тока
- **3) Максимальное обратное напряжение** на диоде (запас 25-30%, выше которого обратное напряжение не пробивается)
- 4) Зависимость различных характеристик от температуры:

#### Критическая максимальная температура:

- Корпуса:  $t_{\text{корпуса}} = 120^{\circ}$
- ullet Кристалла:  $t_{
  m кристалла}=150^\circ$

С ростом температуры увеличивается ток утечки

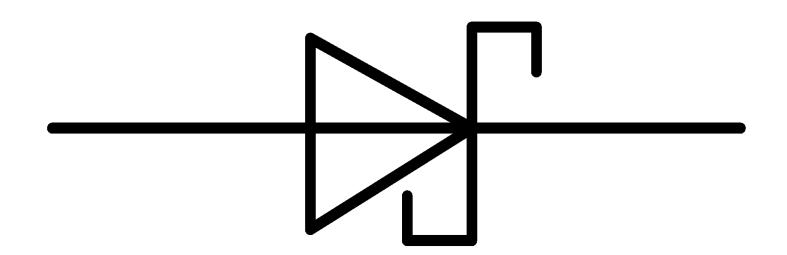
#### 5) Частотные свойства диода

С ростом частоты ухудшаются выпрямительные свойства диодов, резко повышается ток утечки (диод не успевает закрыться)

#### диод шоттки

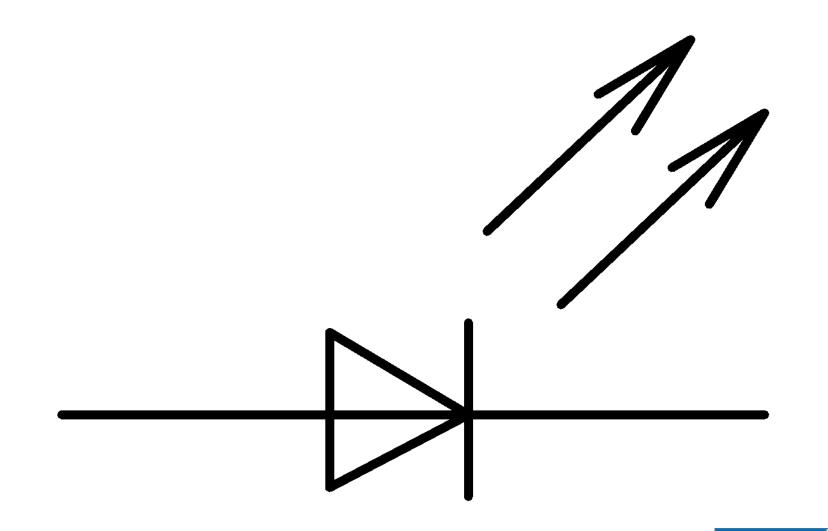
$$U_{\rm ШОТ_{\rm nop}} \approx 0.4 V$$

В силовой выпрямительной технике чаще всего используются диоды Шоттки, так как у них относительно небольшое пороговое напряжение, что повышает КПД устройства, приближая его к схеме с Ge-диодом



## LED (Светодиод)

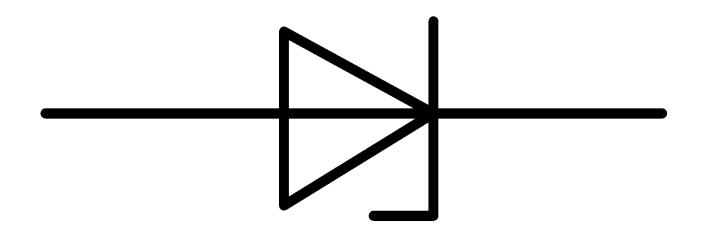
$$U_{LED_{\mathrm{nop}}} \approx 1,7 \div 1,8 V$$



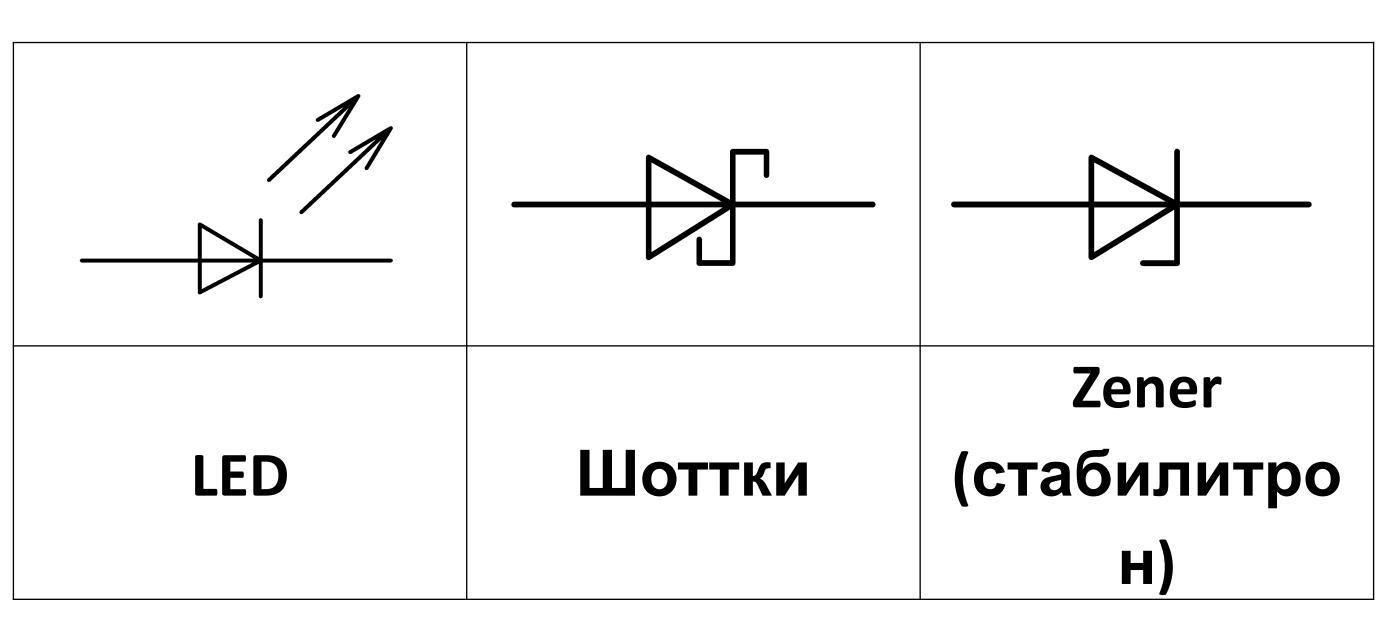
# Zener (Стабилитрон)

$$U_{LED_{\text{nop}}} \approx 1,7 \div 1,8 V$$

работает на обратной ветви ВАХ, имеет расширенную зону электрического пробоя

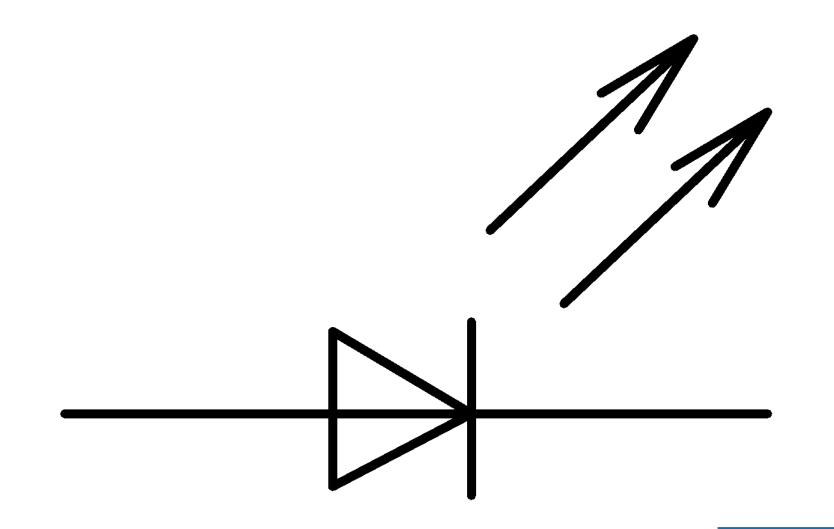


#### ОБОЗНАЧЕНИЯ НА СХЕМЕ:

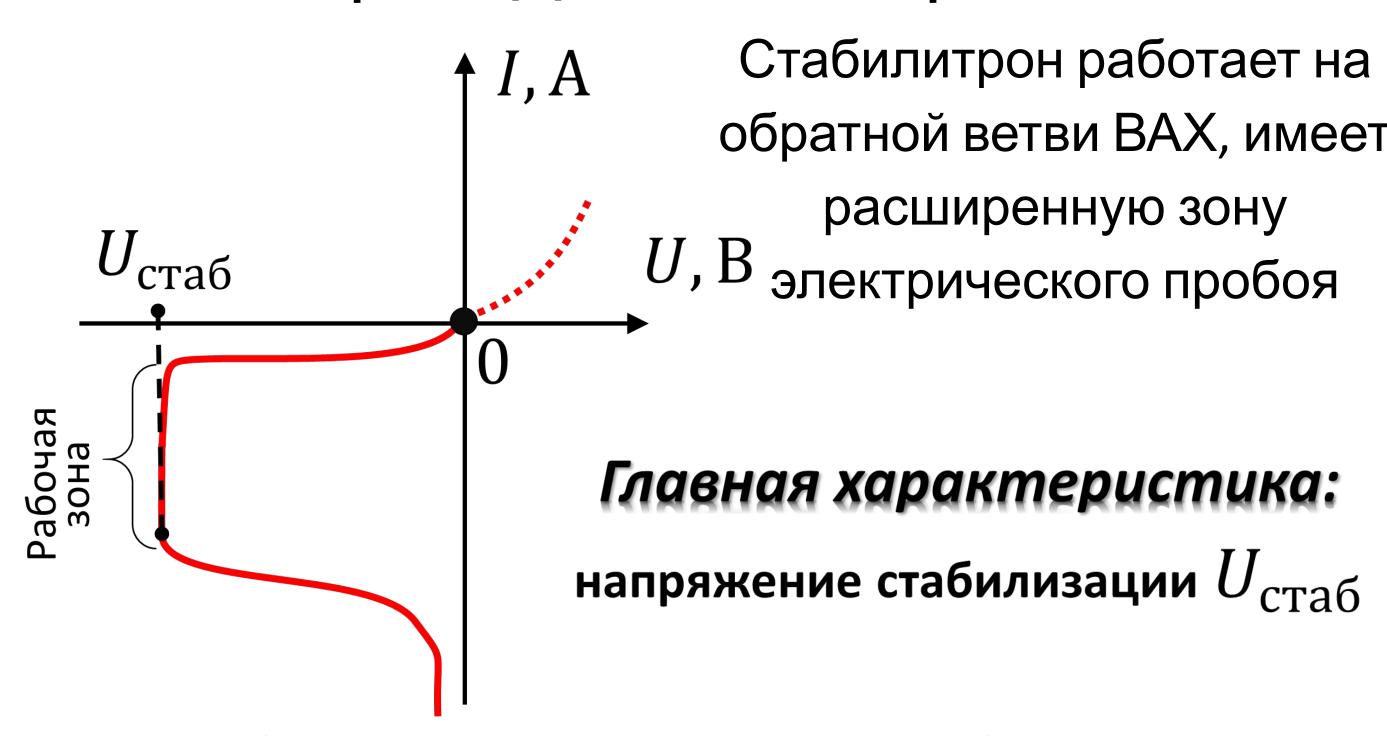


## LED (Светодиод)

$$U_{LED_{\mathrm{nop}}} \approx 1,7 \div 1,8 V$$



# Стабилитрон. Диод Зейнера

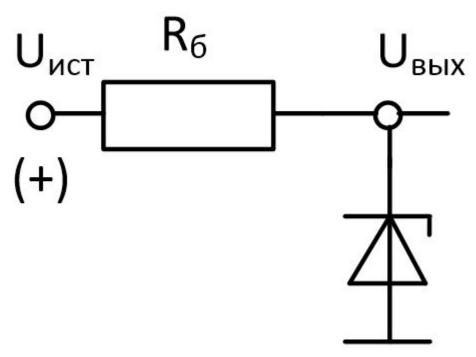


Стабилитрон «старается», чтобы на нём падало постоянное напряжение  $U_{\rm cra6}$ 

# Простейший **СТАБИЛИЗАТОР** на базе стабилитрона

# Простейший *СТАБИЛИЗАТОР* на базе стабилитрона $\downarrow U_{\rm BX}$ $\mathsf{R}_{\mathsf{6}}$ $U_{ m BMX}$ $U_{ m cra6}$ **↑** *I*<sub>стаб</sub> 18.02.2021

Стабипитрона



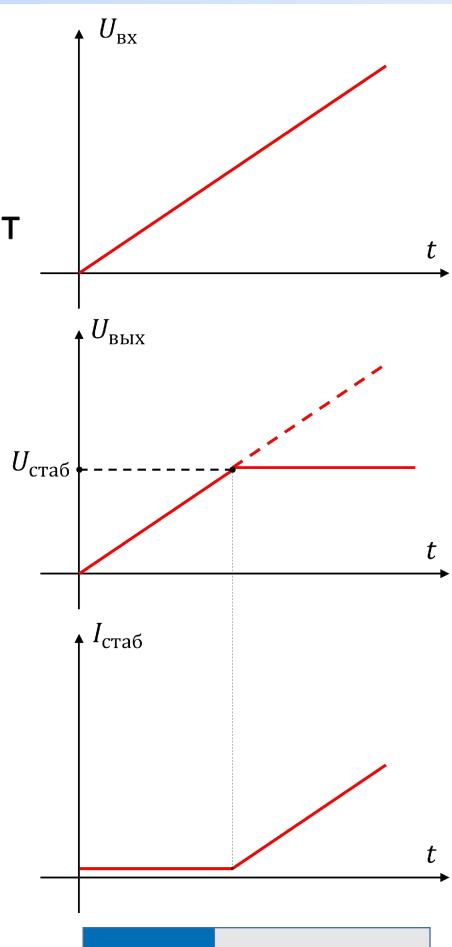
 $oldsymbol{R}_{\mathrm{f}}$  – баластное сопротивление

Стабилитрон имеет

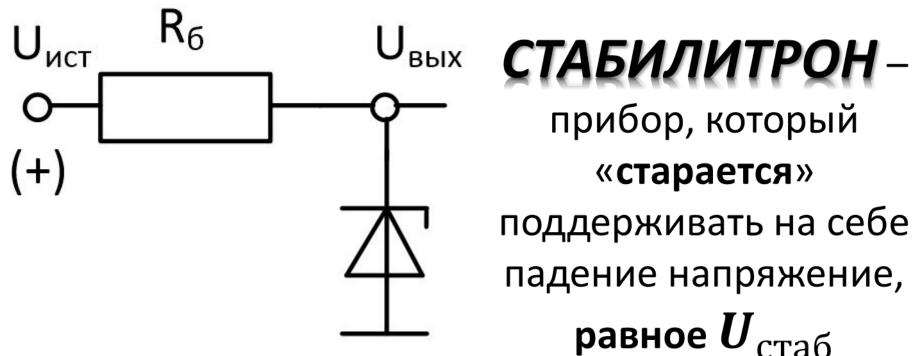
«очень большое сопротивление»

- Пока напряжение источника не достигнет  $U_{\rm стаб}$  , сопротивление стабилитрона весьма велико, ток через него практически не течёт, следовательно, на выходе присутствует напряжение, равное напряжению источника
- Когда входное напряжение достигло  $U_{\rm стаб}$ , стабилитрон начинает открываться, препятствуя повышению напряжения выше  $U_{\rm стаб}$ .

«Препятствие» выражается в том, что стабилитрон резко уменьшает своё сопротивление через него начинает течь значительный ток, что не даёт повышаться  $U_{\mathrm{Bыx}}$  заметно выше  $U_{\mathrm{стаб}}$ 

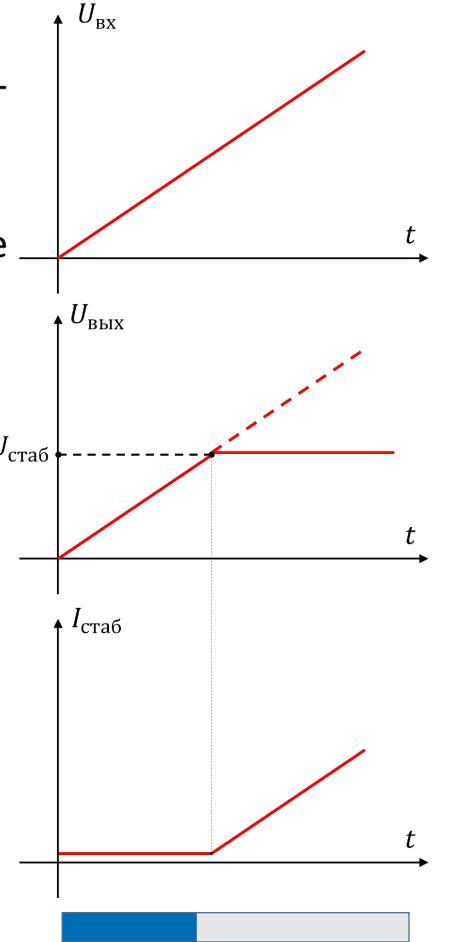




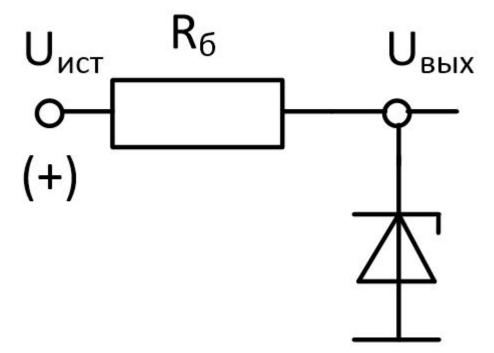


Из свойств стабилитрона вытекает  $U_{\text{стаб}}$  наиболее частое использование его в качестве маломощного стабилизатора напряжения.

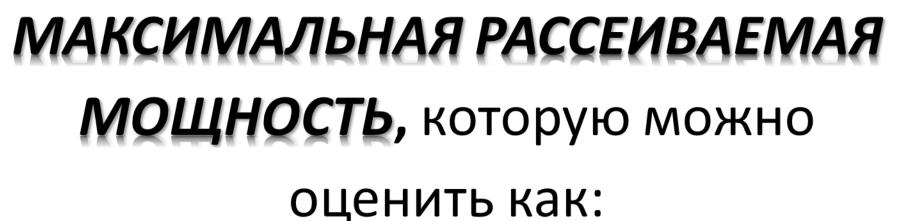
Типичное значение тока, которое может выдать стабилизатор в нагрузку имеет порядок от нескольких десятков миллиампер (для маломощных) до сотен 1 миллиампер (для мощных)



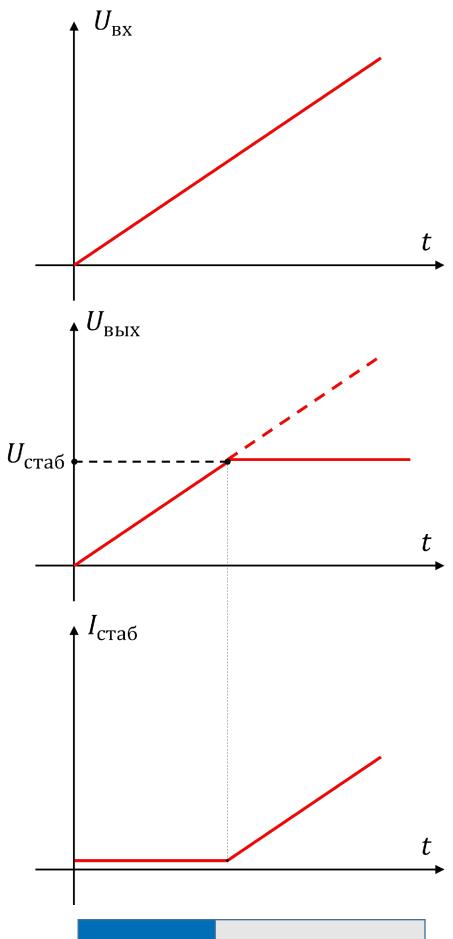
#### Стабипитрона



Одна из основных характеристик



$$P_{max \, pacc} = I_{max \, pacc} \cdot U_{cra6}$$



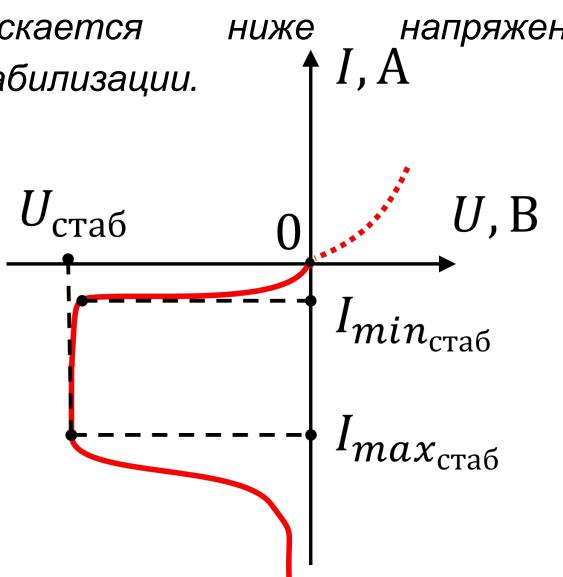
Схем

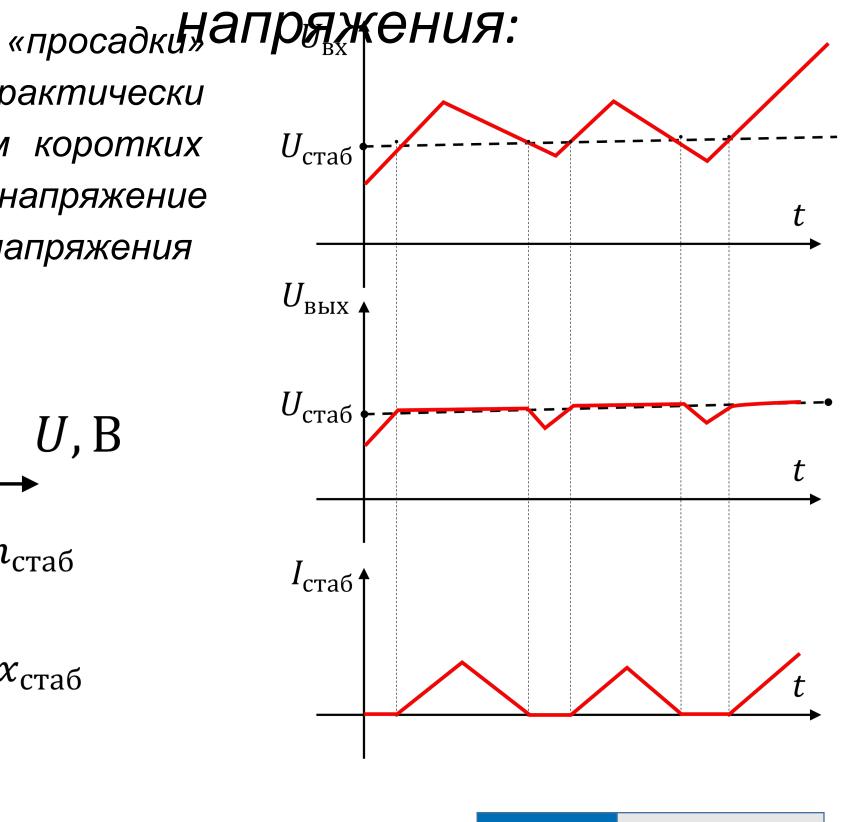
#### Возьмём плохой источник

a

На входе имеются «просадкий на выходе практически идеально, за исключением коротких моментов, когда входное напряжение опускается ниже напряжения стабилизации. 

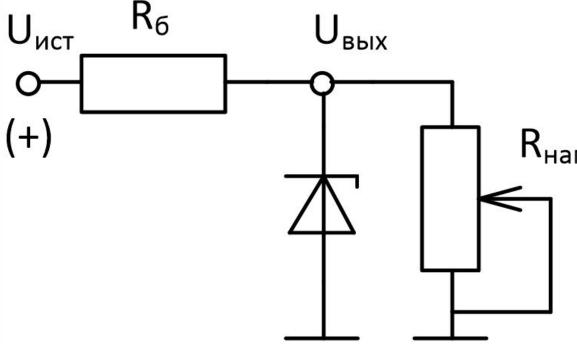
† I, A



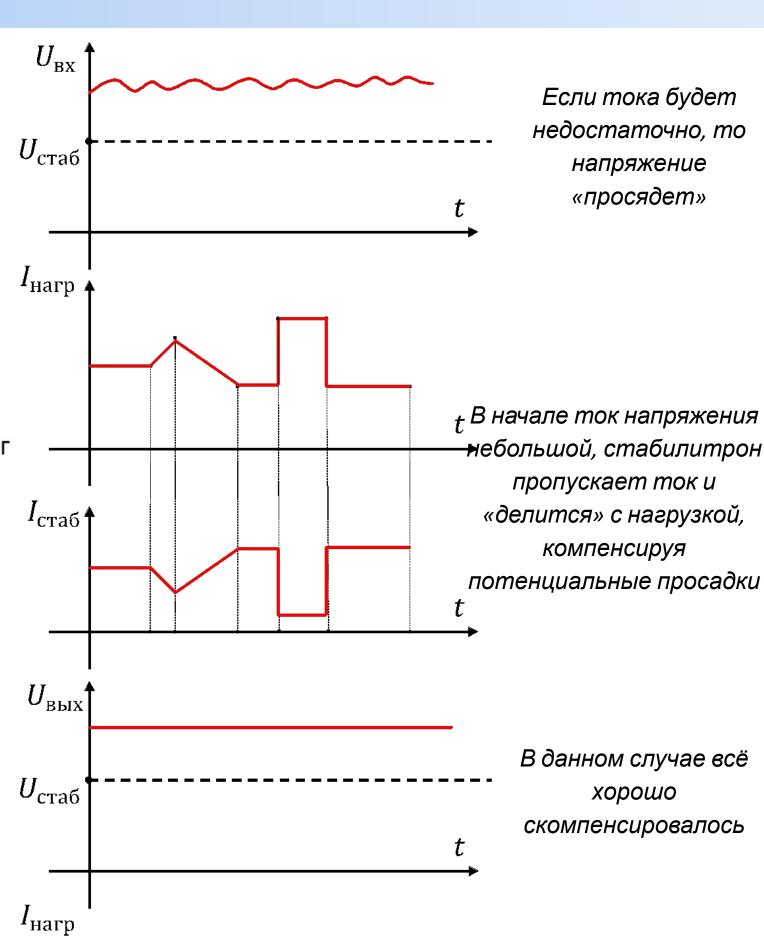


стабилитрона *Пример 2:* 

небольшие пульсации входного напряжения и заметные пульсации тока



Напряжение значительно выше напряжения стабилизации, возможно с некоторыми пульсациями



#### СТАБИЛИЗАТОР

#### Главная характеристика:

## Напряжение стабилизации $U_{ m ctab}$

• Максимальный и минимальный токи стабилизации:

$$I_{max_{\rm cra6}}$$
  $I_{min_{\rm cra6}}$ 

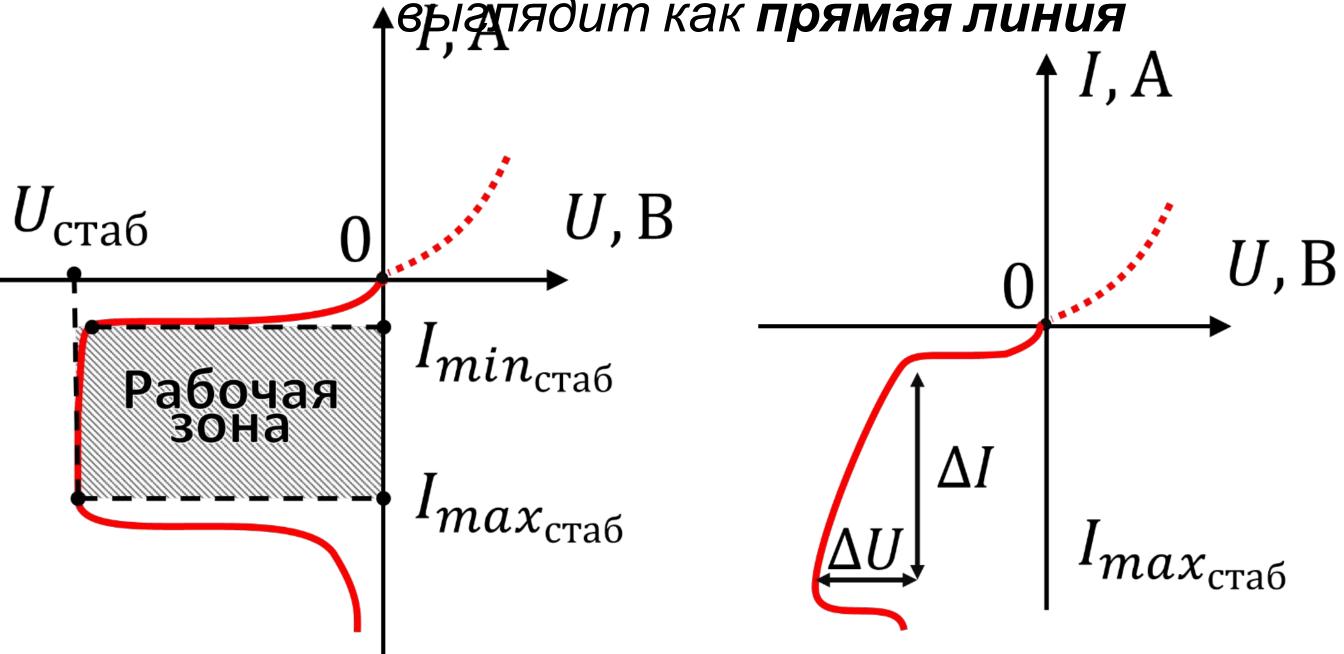
• Качество стабилизации, которое характеризуется

#### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Величина диф. сопротивления указывает **степень отличия реального стабилитрона от идеального** 

#### СТАБИЛИЗАТОР

У идеального стабилитрона рабочая зона **№**1947 **№**1947 **№**1948 **№**1947 **№**1948 **№**1947 **№**1948 **№**1



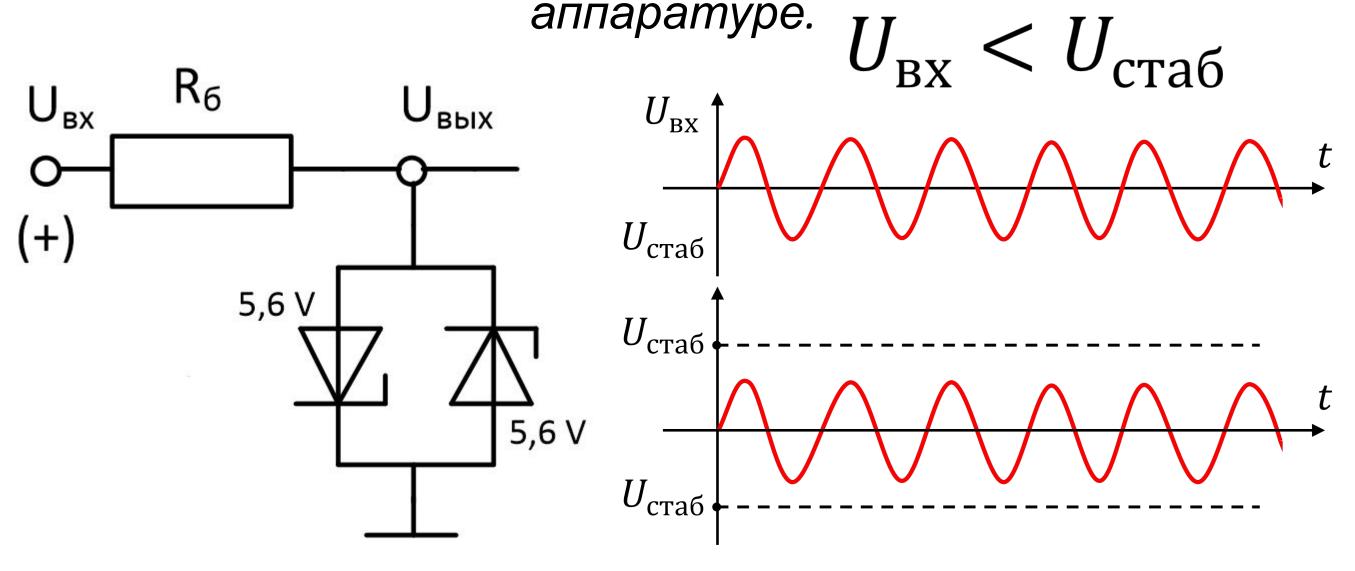
идеальный:  $R_{\rm ди}_{\rm идеал}=0$ 

**РЕАЛЬНЫЙ**:  $R_{\text{диф}} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ 

У реального прямая не вертикальна и может даже быть кривой Чем она менее вертикальна, тем сильнее характеристики реального отличаются от идеального

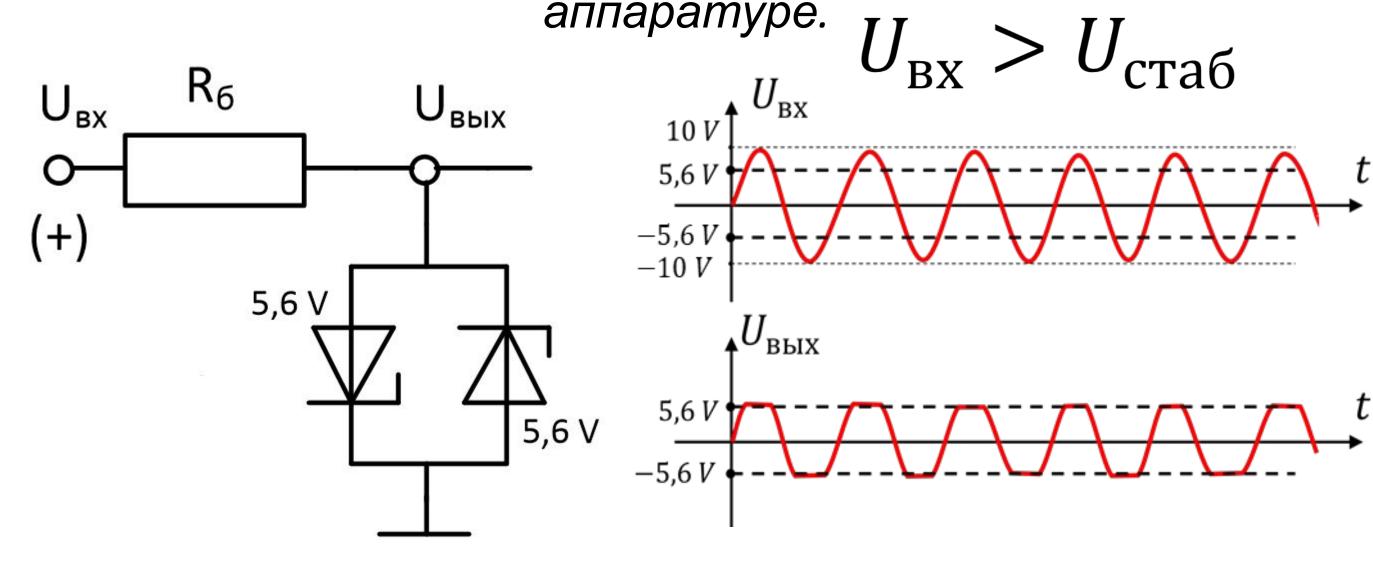
**ПРИМЕР 3**: реализация схем-ограничителей напряжения на базе стабилитрона:

<u>Наиболее типичное применение</u>: в качестве организации сигнала в высокочувствительной измерительной



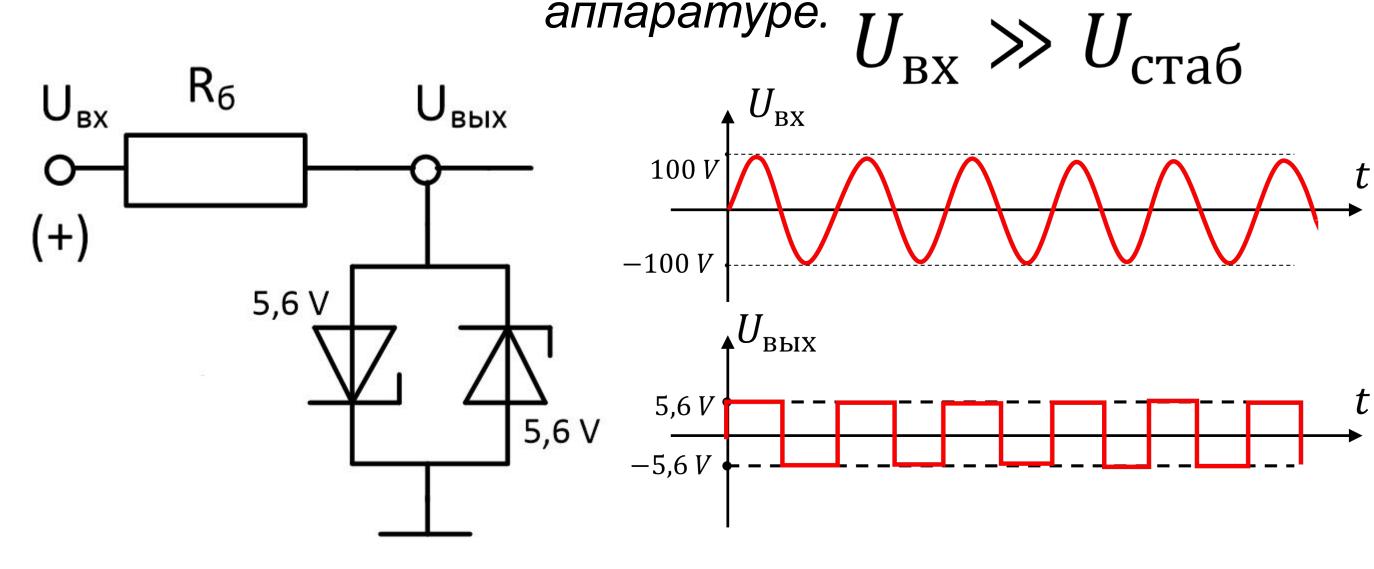
**ПРИМЕР 3**: реализация схем-ограничителей напряжения на базе стабилитрона:

Наиболее типичное применение: в качестве организации сигнала в высокочувствительной измерительной



**ПРИМЕР 3**: реализация схем-ограничителей напряжения на базе стабилитрона:

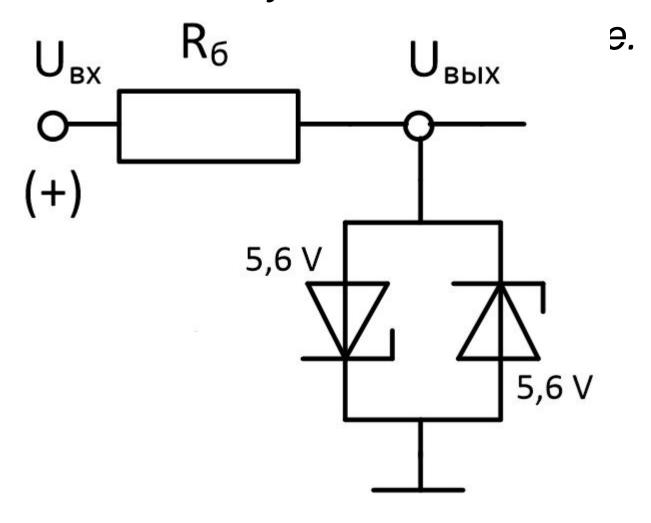
Наиболее типичное применение: в качестве организации сигнала в высокочувствительной измерительной

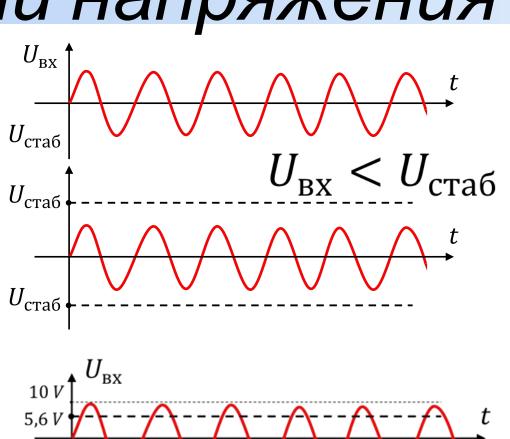


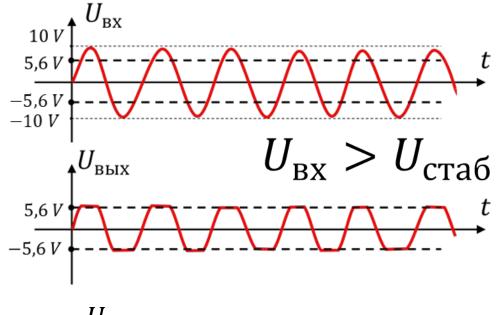
**ПРИМЕР 3**: реализация схемограничителей напряжения на базе стабилитрона:

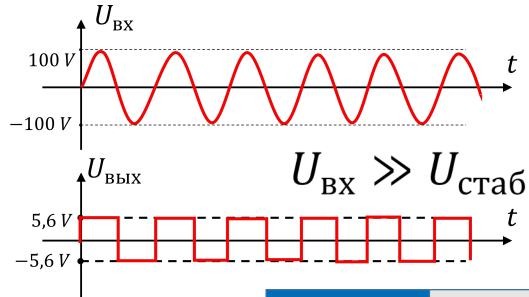
<u>Наиболее типичное применение</u>:

в качестве организации сигнала в высокочувствительной

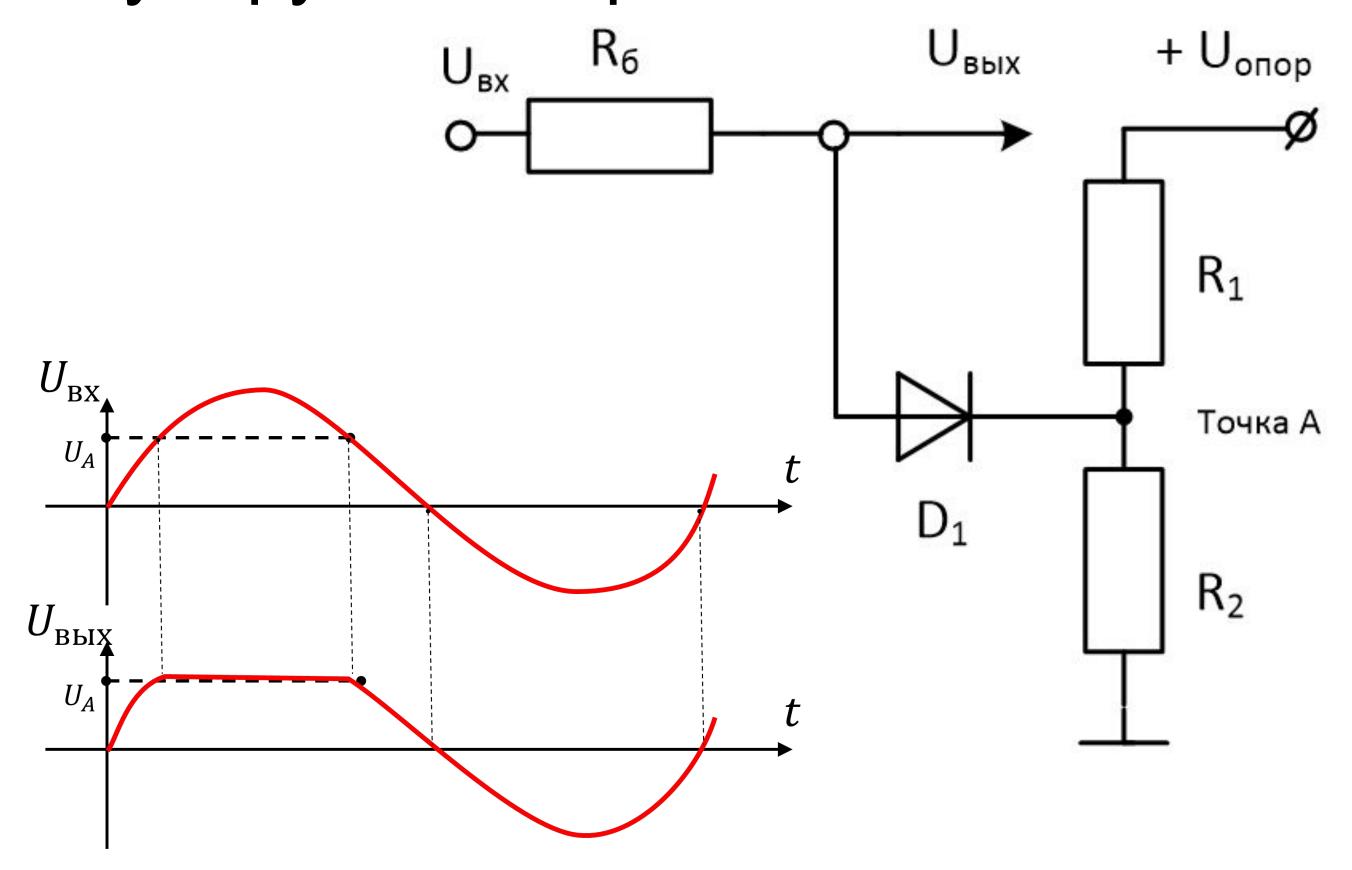




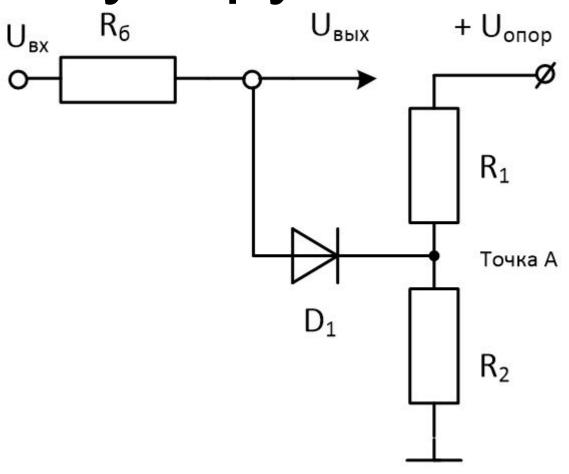




# Регулируемый ограничитель



## Регулируемый ограничитель

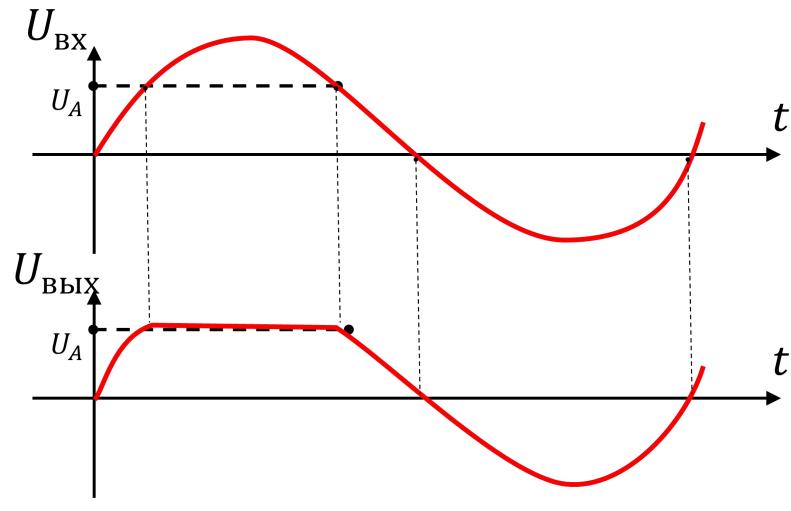


Предположим, что входной сигнал — синусоидальный, для отрицательных значений диод — закрыт, пока сигнал не превысит  $U_A$  — направление в точке A, сигнал проходит без ограничений, так как диод остаётся закрыт

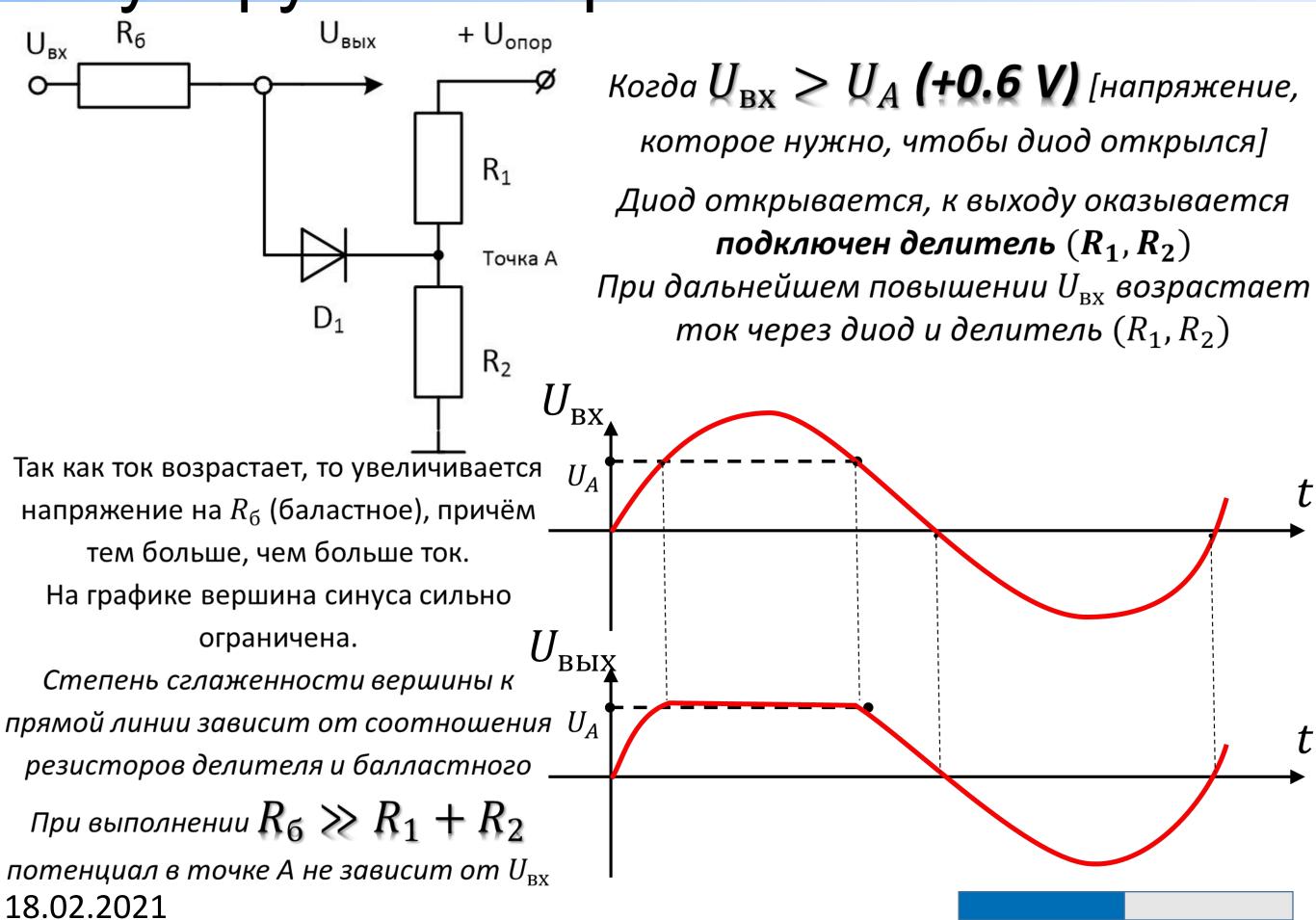
Когда  $U_{
m BX}>U_A$  (+0.6 V)

[напряжение, которое нужно, чтобы диод открылся]

Диод открывается, к выходу оказывается **подключен делитель**  $(R_1,R_2)$  При дальнейшем повышении  $U_{\rm BX}$  возрастает ток через диод и делитель  $(R_1,R_2)$ 

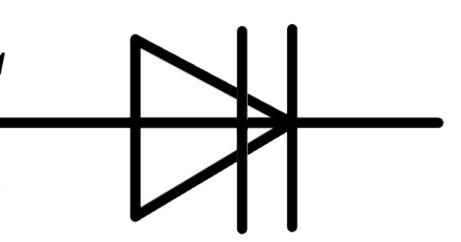


## Регулируемый ограничитель



Диод, который начинает пропускать при **большом значении напряжения** (≈ 30V), а не 0,6V как обычный кремниевый диод, **п** «пробивается», превращаясь в проводник Если подать обратное напряжение, то будет работать как диод:

- ·Электрический подъём
- •Тепловое нагревание
- Тепловой пробой
- ·Разрушение кристалла



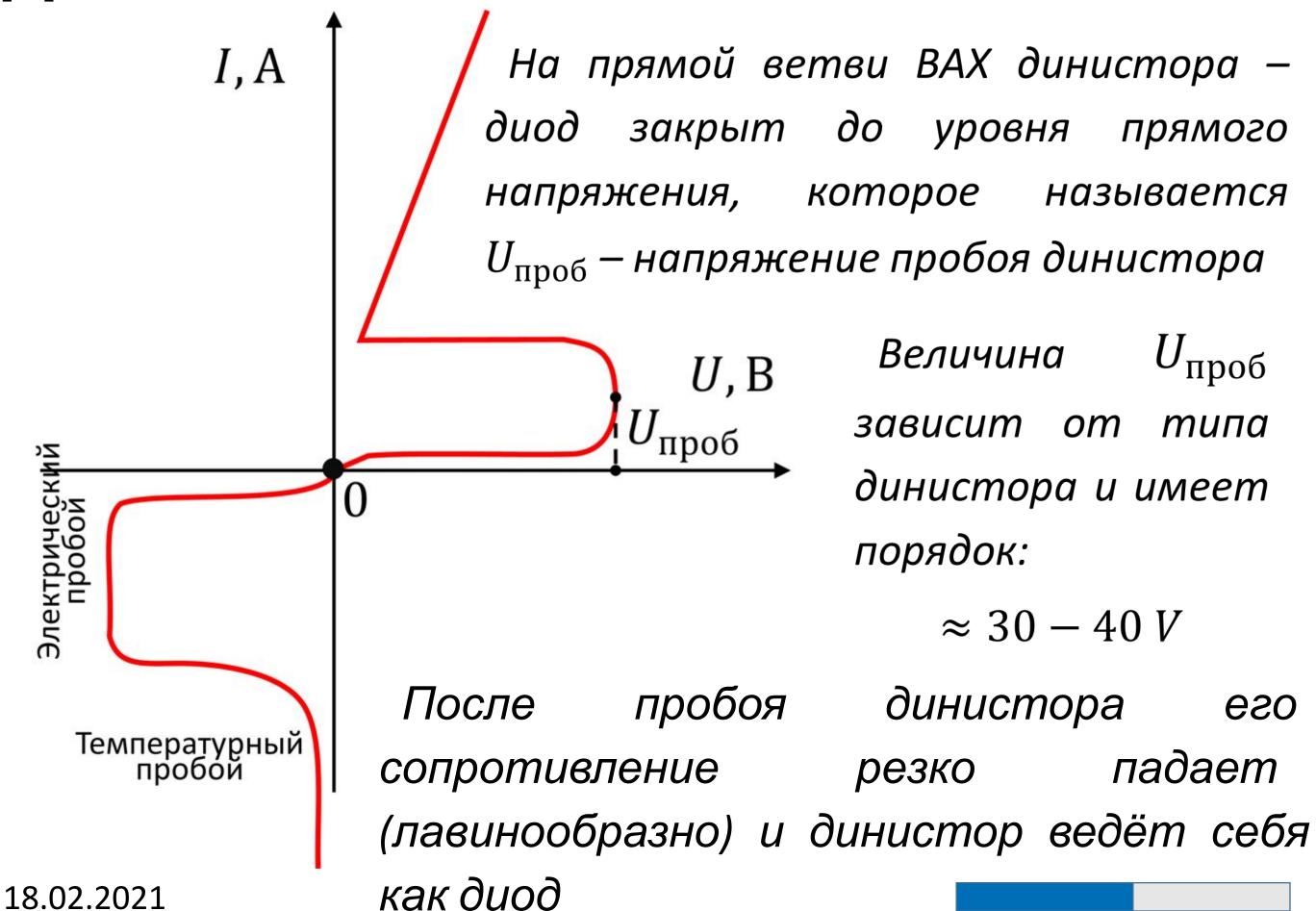
18.02.2021

**ДИНИСТОР** – полупроводниковый прибор, который работает на прямой ветви ВАХ и имеет 2 состояния:

- •Прибор закрыт
- •Прибор открыт

В **открытом** состоянии динистор ведёт себя как обычный диод, включенный в прямом направлении (отличие – пороговое напряжение: 1-1,5 V)

В закрытом состоянии динистор ведёт себя как разрыв цепи. При обратном напряжении его поведение сходно с обычным диодом. До какого-то обратного напряжения – закрыт, происходит электрический, тепловой пробой



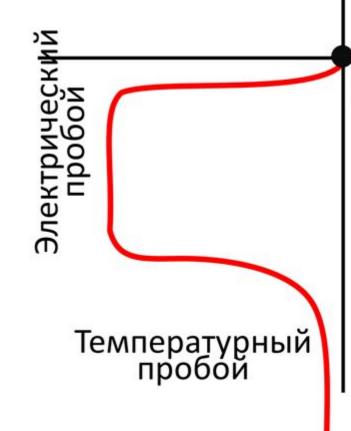


Чтобы вернуть динистор в закрытое состояние нужно снизить ток через динистор ниже пороговой величины (записано в описании прибора: доли миллиампер) Имеется 2 р-п перехода

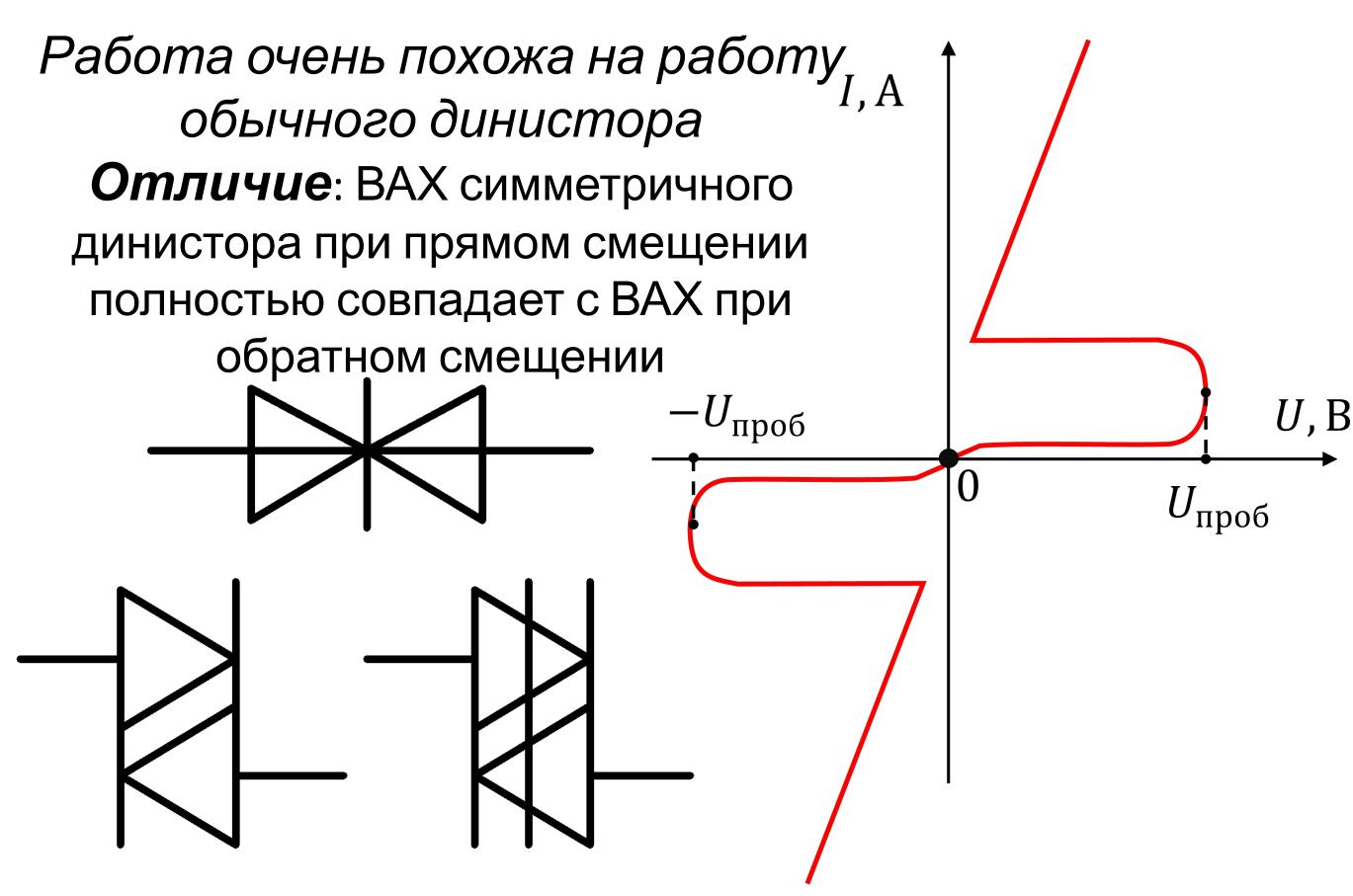
U, B  $U_{\text{проб}}$ 

ГЛАВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА:

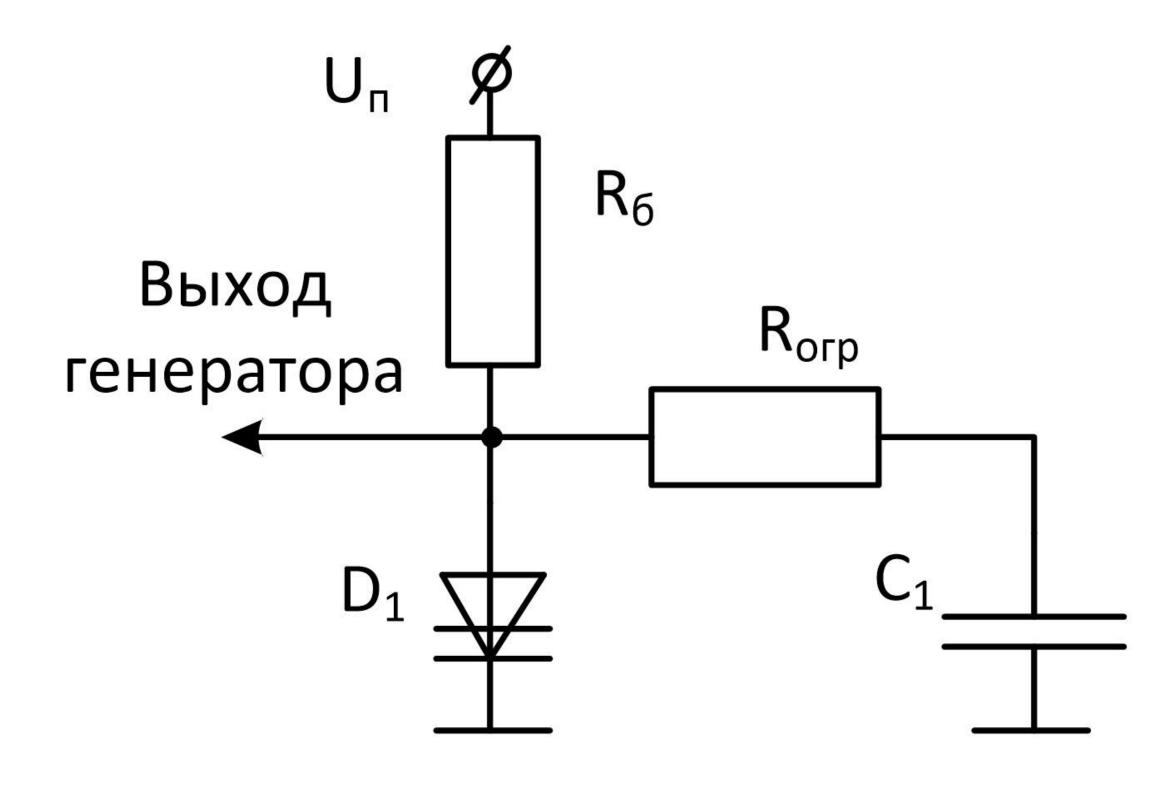
- 1) Напряжение пробоя  $U_{\mathrm{проб}}$
- **2) Пороговый ток**  $I_{\text{пор}}$ , который указывает, при каком снижении происходит восстановление выключенного состояния динистора
  - **3) Максимальный ток** через динистор  $I_{max}$



# СИММЕТРИЧНЫЙ ДИНИСТОР



#### ИРОСТЕИШИИ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ



# ИМПУЛЬСОВ $D_1$ — закрыт; $C_1$ —заряжен $R_6$ $R_6$ $R_{OFP}$ $R_{OF$

**2 фаза**:  $C_1$  – заряжен до  $U_{\rm проб}$ ,  $D_1$  – открыт, через  $D_1$  течёт ток, имеющий 2 составляющие:

– пробивается. Наступает 2-ая фаза работы генератора

1-ая составляющая тока: ток разряда  $C_1$ 

 $R_{
m orp}$  нужно, чтобы ограничить ток разряда, без него ток (в теории) будет  $\infty$ , но в действительности — десятки ампер, прибор сгорит

Если на 
$$C_1=50$$
 , а  $R_{
m orp}=100$  Ом, то  $I_{
m orp}=1$   $A$ 

Ток разряда быстро, экспоненциально падает и достигает почти нулевых значений, при этом  $\underline{вторая}$   $\underline{cocmaвляющая тока}$  через  $D_1$  практически не меняется и определяется током через  $R_6$ 

Когда сумма двух составляющих через  $D_1$  становится меньше порогового тока закрывания динистора,  $D_1$  — закрывается и начинается **фаза 1** и так далее (например, 1000 раз в секунду)

# ТИРИСТОР

#### ТИРИСТОР

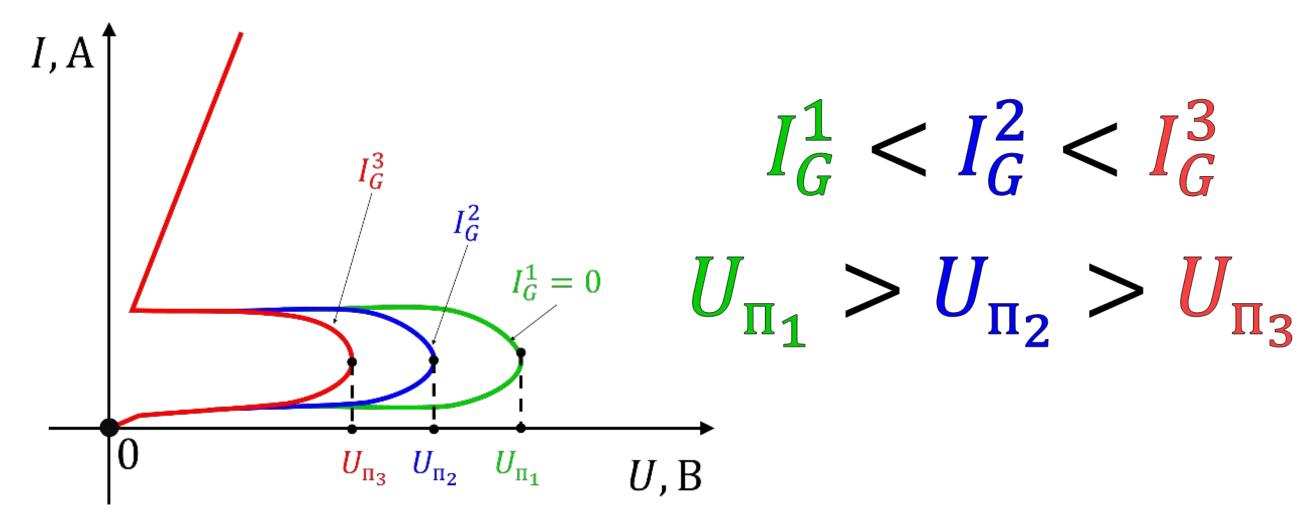
**ТИРИСТОР** - полупроводниковый прибор, находящийся в одном из двух состояний: **открыт/закрыт**, в этом схожесть с динистором, имеет 3 (или более) p-n переходов

В отличие от динистора напряжение пробоя не фиксировано, а может регулироваться при помощи специального дополнительного



#### ТИРИСТОР

BAX зависит ещё и от тока через управляющий электрод (Gate), поэтому приходится говорить о семействе прямых



ПРИЕМУЩЕСТВО: регулировка напряжения пробоя путём пропускания тока через дополнительный вывод **УЭ** (управляющий электрод)

18.02.2021

# СИМИСТОР

Симистор

**СИМИСТОР** - симметричный тиристор,

работает при любой полярности напряжения

(Анод и катод симметричны)

У симистора нет GATE

(управляющего электрода)

«Ножки» - это входы для светодиода, при подключении внутри появляется свет и фототок, и симистор пробивается

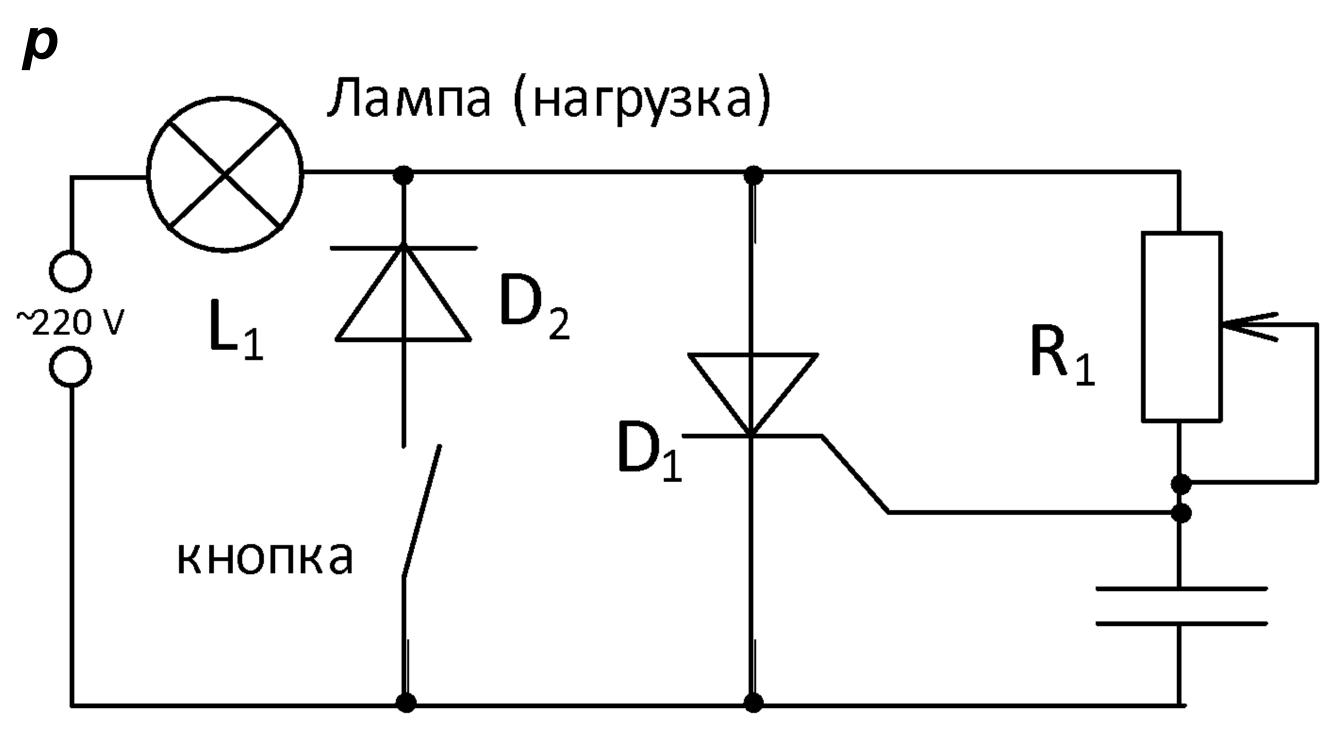
(оптоканал – очень надёжен)

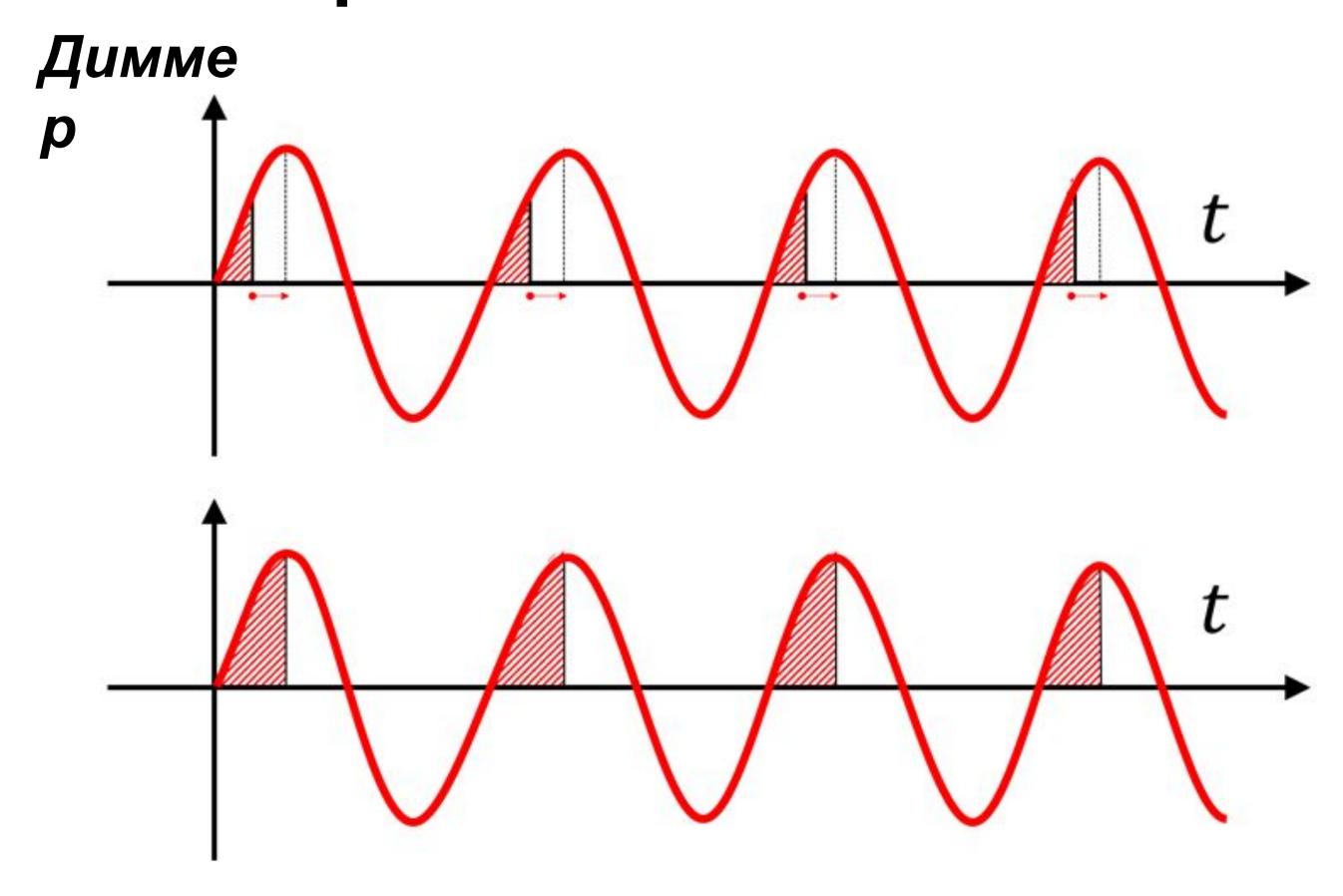
При подаче напряжения внутри симистор открывается не сразу, а когда волна доходит до нуля.

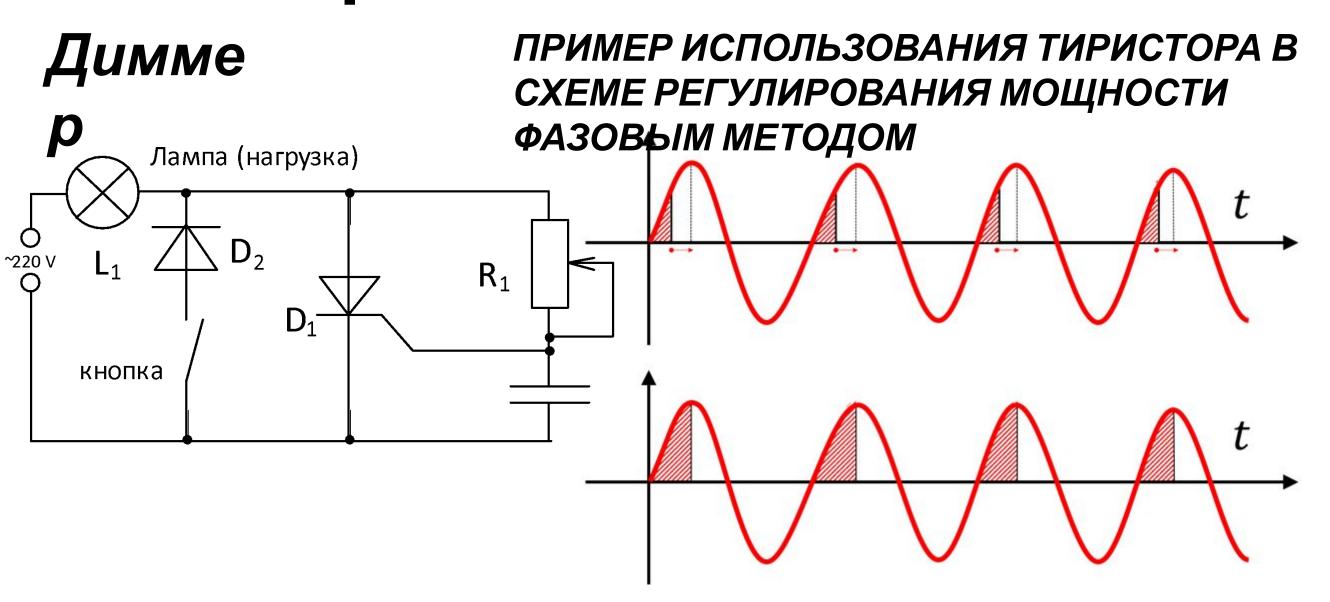
Напряжение нарастает, а симистор уже включен, это требуется для того, чтобы нагрузка подавалась НЕ УДАРНО «**Чувствительность к нулю**»

# Симистор

#### Димме



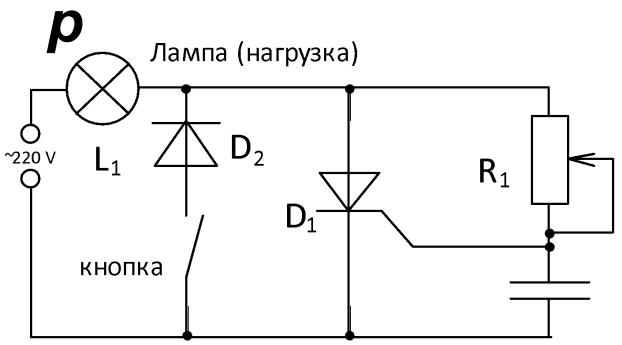




**ДИММЕР** – прибор для регулировки светимости

График, поясняющий фазовый метод регулировки: заштрихованные области – через нагрузку ток не течёт, во втором случае лампа светит менее ярко

### Димме



Работа схемы состоит из двух фаз:

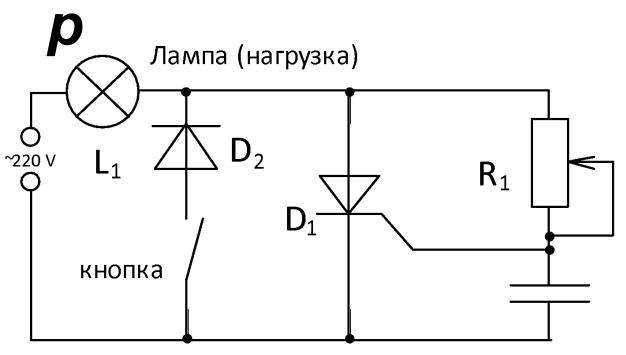
**1-ая фаза**: напряжение питания начинают повышать от нуля в положительную сторону.  $D_1$  при этом закрыт, через  $L_1$  не течёт ток (так как тиристор закрыт). Напряжение на  $C_1$  повторяет  $U_{\rm вход}$  с некоторым сдвигом. Сдвиг фазы тем больше, чем больше  $R_1$ .

С ростом  $U_{\rm вход}$  растёт напряжение на  $C_1$  за счёт тока через  $R_1$ . Когда напряжение на GATE (и на  $C_1$  в том числе) увеличивается до 1,5-2 V появляется ток управляющего электрода, то есть ток через  $R_1$  разветвляется на 2 составляющих:

Одна из них идёт на заряд  $C_1$ , а вторая поступает в управляющий электрод

Чем больше входное напряжение, тем больше ток управляющего электрода, а значит тем меньше напряжение пробоя тиристора. В какой-то момент времени возрастающее напряжение питания и снижающееся напряжение пробоя совпадут. Тиристор пробьётся, начнётся вторая фаза работы схемы;

### Димме



**2-ая фаза:** характеризуется тем, что  $D_1$  — открыт, через него течёт относительно большой ток, определяемый входным напряжением и нагрузкой  $L_1$ . По мере дальнейшего роста  $U_{\rm вход}$  состояние схемы сохраняется. Когда полупериод синусоиды перешёл в фазу снижения напряжения — состояние схемы сохраняется вплоть до снижения  $U_{\rm вход}$  до нуля. При маленьком входном напряжении ток через  $L_1$  очень мал, что приводит к восстановлению закрытого состояния  $D_1$ 

Таким образом  $D_1$  готов к началу первой фазы.

При отрицательной полуволне входного напряжения  $D_1$  всё время закрыт (иначе случится поломка) Первая фаза начнётся с положительной полуволны.

Если кнопка нажата, то отрицательная полуволна беспрепятственно проходит на нагрузку  $L_1$ . Таким образом кнопка регулирует диапазон, в котором изменяется мощность на нагрузке. Задаёт **режим работы**:

- · От 0 до 50% (когда кнопка отжата)
- · От 50 до 100% (когда кнопка нажата)

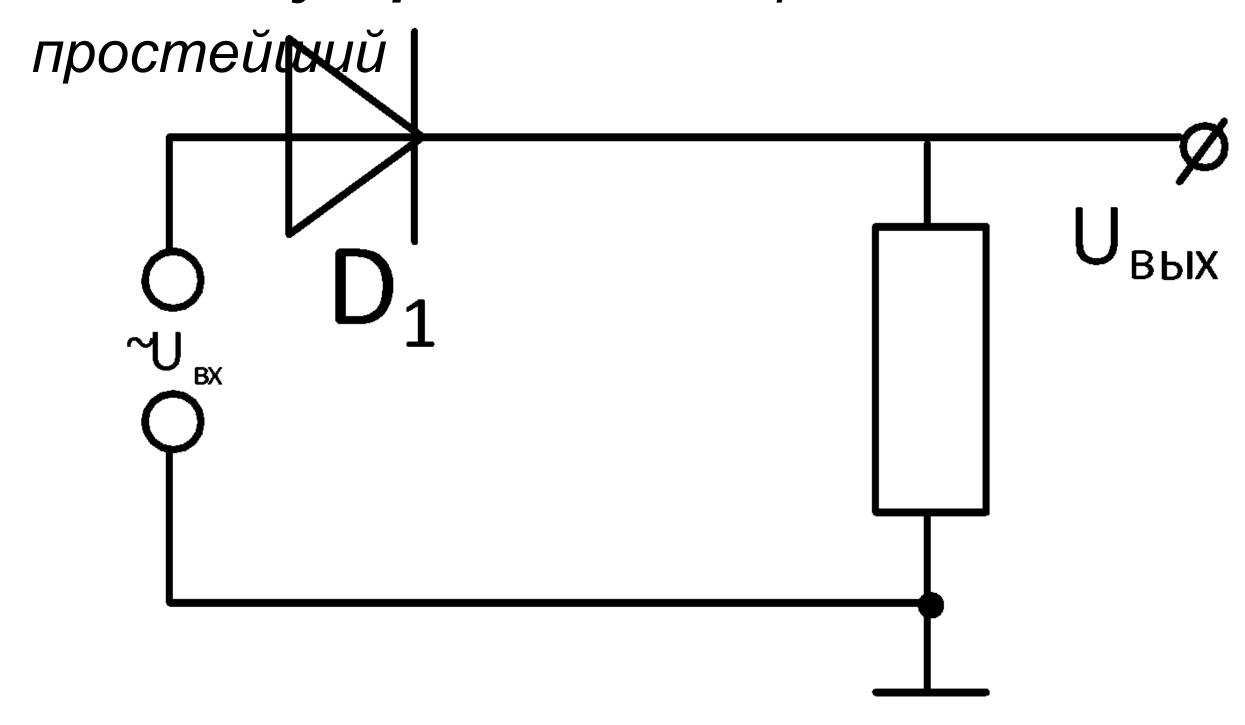
В момент пробоя  $D_1$  регулируется потенциометром  $R_1$ , который меняет момент пробоя  $D_1$  Чем меньше  $R_1$ , тем пробой  $D_1$  наступит позже (или никогда)

На самом деле границы не 50% и 100%, а примерно 30% и 80%, так как нельзя обеспечить маленькие части синусоиды

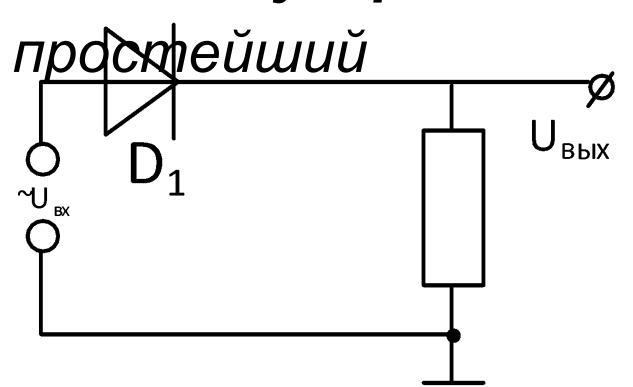
Вместо кнопки обычно ставят ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ МОСТИК

# ДИОДНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

•Однополупериодный выпрямитель:



### •Однополупериодный выпрямитель:



### Плюсы/Минусы

+ предельная простота

- высокий уровень пульсаций на выходе однополупериодного выпрямителя
- из синусоиды пропускает только полпериода

Для борьбы с пульсацией используют

### ФИЛЬТРИРУЮШИЙ КОНДЕНСАТОР

параллельно  $R_{\rm Harp}$ 

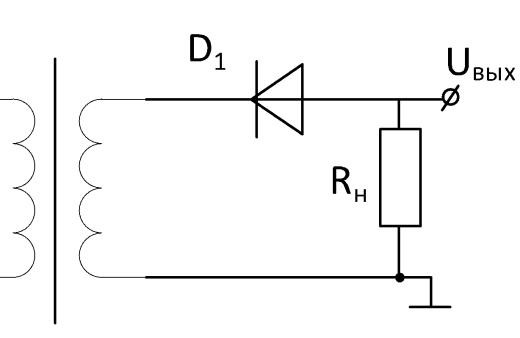
Трансформатор не обязателен

Схема выпрямителя, другое расположение (направление)

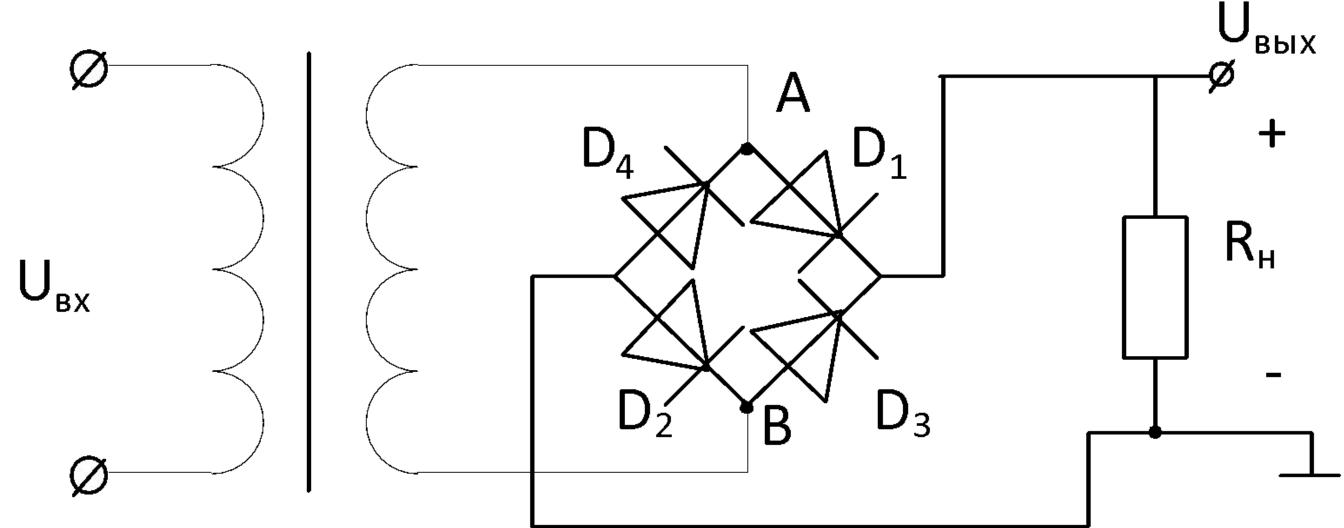
диода

Пульсации характеризуют среднее значение входного **У** напряжения

$$U_{\rm cp} = 0.318 \cdot U_{max}$$



# -Двухполупериодный выпрямитель: МОСТИК



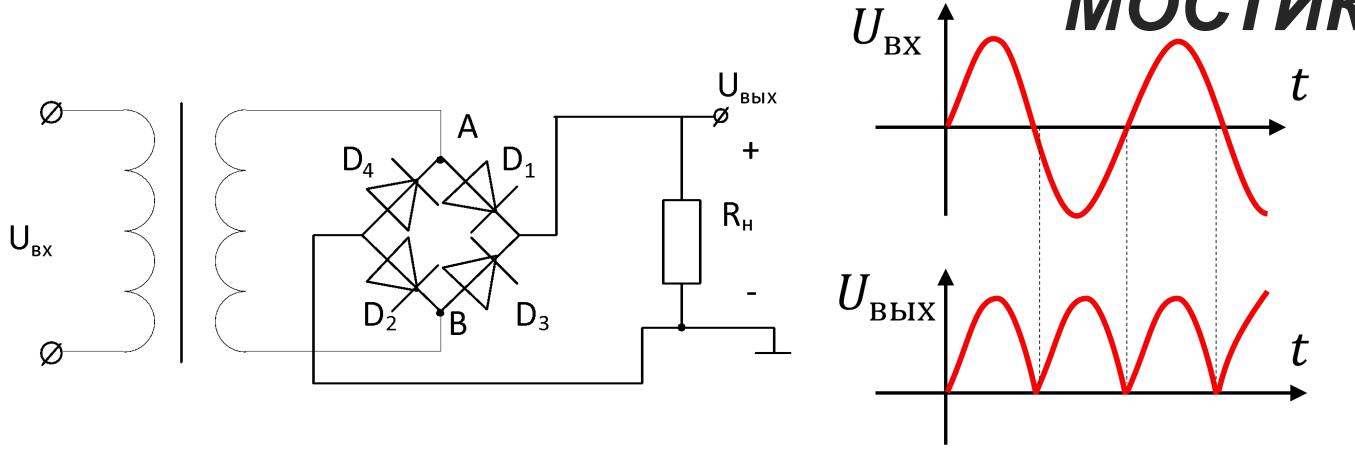
**Правило**:  $U_{\text{вых}}$  соответствует двум одинаковым выводам диодов (анод к аноду, катод к катоду), там где «-» - 2 анода

**Для проверки**: переменное напряжение должно проходить к аноду и катоду Относительно земли: **A «+»**; **B «-»** 

•Двухполупериодный выпрямитель:

•Ивухполупериодный выпрямитель:

• МОСТИК



Когда в точке А «+» ток проходит на выход: диоды  $D_1$  и  $D_2$  открываются и на выходной «+» поступает «+» с выхода трансформатора, а с точки В поступает «-» на отрицательный выход выпрямителя через  $D_2$ 

При такой ситуации  $D_3$  и  $D_4$  – ЗАКРЫТЫ.

Во второй фазе полярность напряжений меняется в точках A и B местами, поэтому из точки A через открывшийся  $D_4$  «-» поступает на выходной «-» выпрямителя. «+» из точки B через открывшийся  $D_3$  поступает на выходной «+» выпрямителя. B этой фазе диоды  $D_1$  и  $D_2$  — ЗАКРЫТЫ.

Общий вид напряжений на

выходе

18.02.2021

Обеспечивает подключение в зависимости от знака с

### РРАЮСВІ/МИНУСЫ

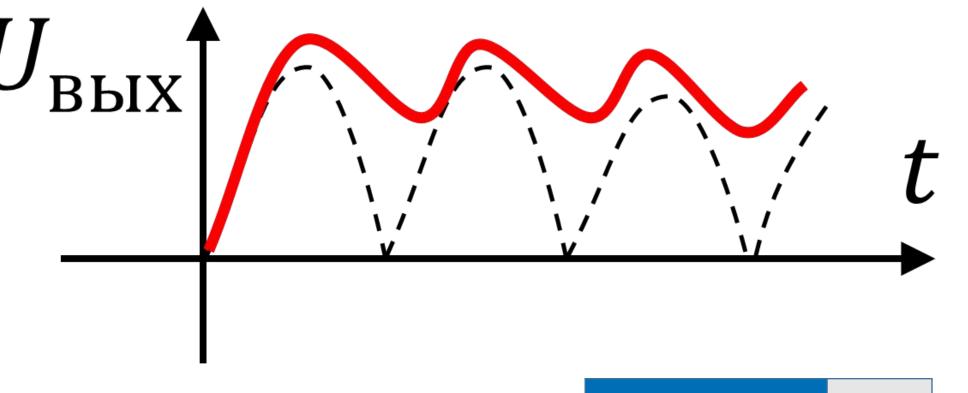
- Большое число диодов
- + Понижение пульсации

$$U_{\rm cp} = 0.636 U_{max}$$

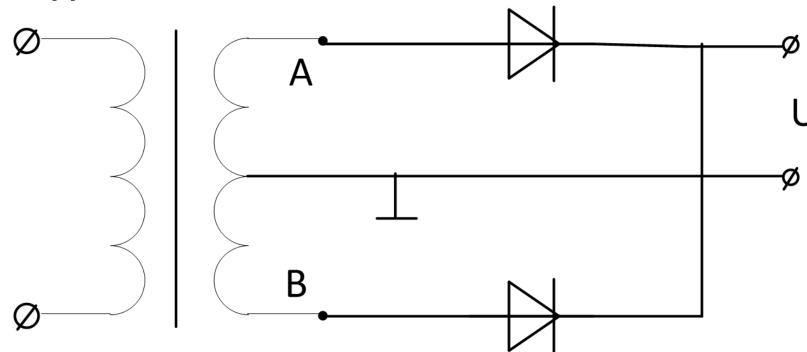
Параллельно нагрузке ставят конденсатор (фильтр)

Острые впадины пропадают, так как ток поступает от конденсатора (напряжение на нём падает по экспоненте). Напряжение «просаживается», но

не до нуля



# ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ НА ДВУХ ДИОДАХ И ТРАНСФОРМАТОРЕ СО СРЕДНЕЙ ТОЧКОЙ



### Достоинства:

Ј<sub>вых</sub> + мало диодов (греется только 2 диода)

+ низкий уровень пульсации

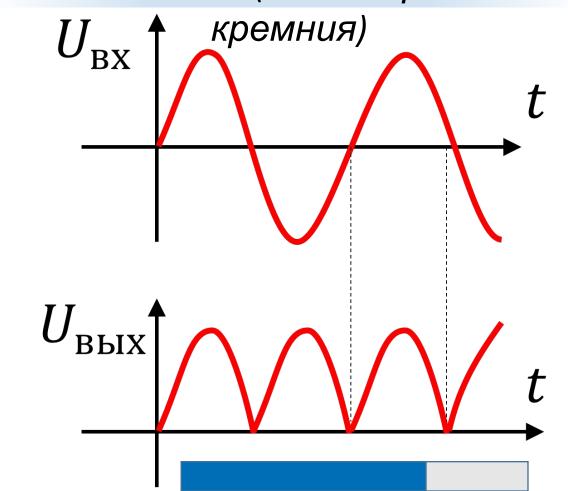
### Недостаток:

Относительно ЗЕМЛИ: в точки A и В напряжения входная синусоида имеет противоположные симметричные фазы

A «+» и B «-»:  $D_1$  — открыт, «+» проходит на выход плюса выпрямителя

А «-» и В «+»:  $D_2$  — открыт, «+» проходит на выход через другое плечо

- требуется 2 медные обмотки (медь дороже



**БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ** - активный элемент, усиливающий входной сигнал (по мощности, напряжению или току)

При усилении и по напряжению, и по току происходит автоматическое усиление по мощности  $P=U\cdot I$ 

#### ВЫВОДЫ ТРАНЗИСТОРА:

- о Эмиттер
- **о К**оллектор
- о База

2 р-п перехода:

- Эмиттерный переход (между эмиттером и базой)
- · **Коллекторный** (между коллектором и базой)

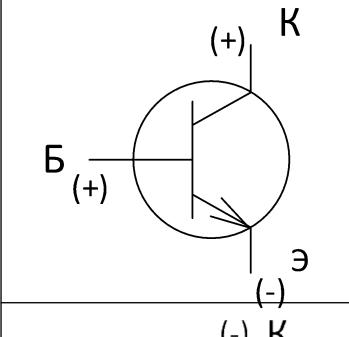
Различают два **типа биполярных** 

транзисторов

P-N-P	N-P-N	
ТРАНЗИСТОР ПРЯМОЙ	ТРАНЗИСТОР ОБРАТНОЙ	
ПРОВОДИМОСТИ	ПРОВОДИМОСТИ	

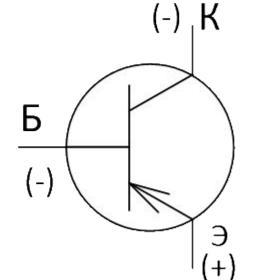
**Разница**: внешний вид, напряжение питания можно заменять (p-n-p) на (n-p-n) в схемах, но с соблюдением полярностей питания

\_\_\_\_\_(обратные)



#### n-p-n

Эмиттер наружу Чтобы он работал нужно подать на базу и коллектор «+», но на базе маленький плюс



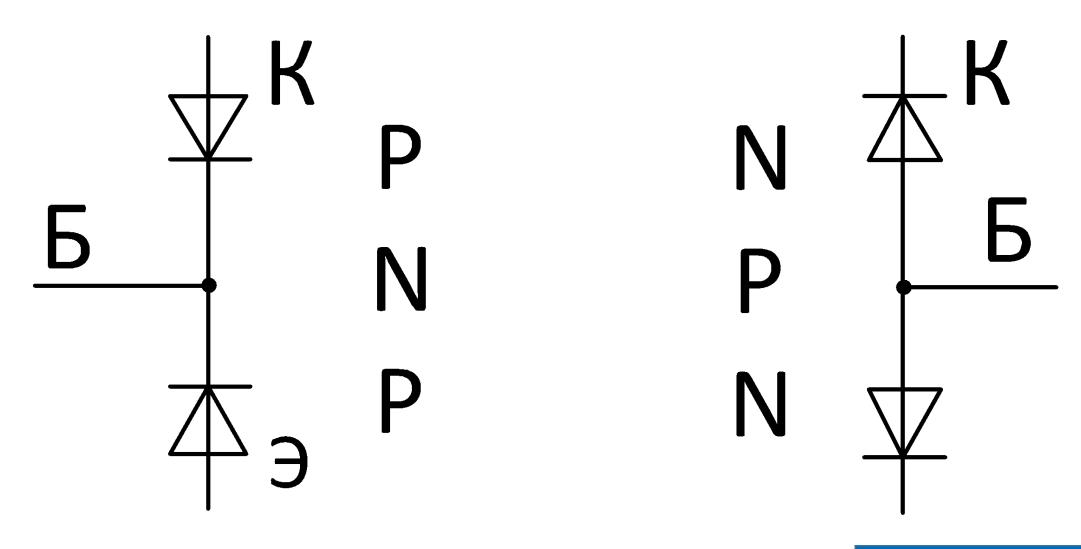
#### p-n-p

Эмиттер внутрь Чтобы он работал нужно подать на базу и коллектор «-», но на базе маленький минус

#### Упрощённая эквивалентная диодная схема:

Напряжение между базом и эмиттером примерно 0,6 V, эмиттерный переход всегда слегка приоткрыт

Транзисторы нужны для усиления сигнала



#### ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ

- Максимальная рассеиваемая мощность:
  - Малой мощности (до 300 мВ)
  - Средней мощности (до 1,5 В)
  - Большой мощности (выше 1,5В)
- Максимальный ток коллектора:
  - о Без разрушения и перегрева примерно мА или А
- Максимальное напряжение коллектора:
  - Высоковольтные (выше 100В)
  - Средней диапазон напряжений (до 100В)
  - Малый диапазон напряжений (до 30 В)
- Частотная характеристика:
  - Указывает, как быстро ухудшаются параметры транзисторов (коэффициенты усиления) с ростом частоты входного сигнала
- ullet Коэффициент усиления по току:  $oldsymbol{eta}$ ,  $oldsymbol{eta}_{ ext{ctat}}$ ,  $oldsymbol{h}_{21}$ 
  - Указывает, во сколько раз ток коллектора превышает ток базы:

$$I_{\rm K} = \beta \cdot I_{\rm G}$$

# УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРОВ

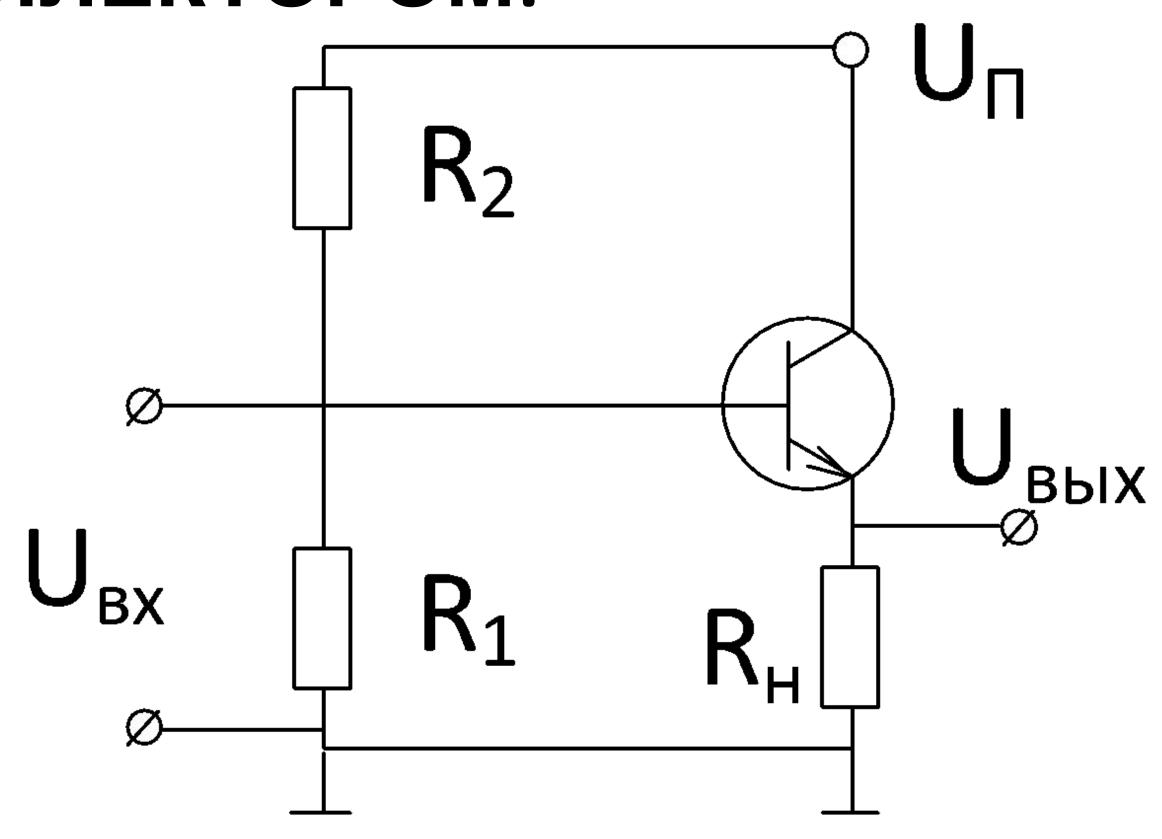
# УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРОВ

3 схемы включения транзистора в усилительный каскад:

- c общим *коллектором*
- с общей **базой**
- c общим **эмиттером**

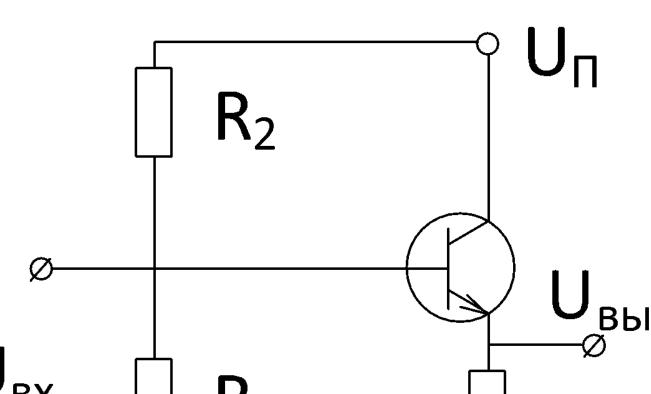
«**ОБЩИЙ**» значит, что на выводе транзистора не меняется ничего в процессе работы каскада

## СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:



### СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:

$$U_{\rm\scriptscriptstyle BX}=10V$$



$$R_1 = R_2 = 1$$
кОм  $R_{\rm H} = 1$ кОм

Какое напряжение на эмиттере?

$$U_{\mathfrak{I}}=U_{\mathfrak{I}}$$

Разница между базой и эмиттером примерно 0,6V

Ток течёт через  $R_2$  и там ток больше, чем на  $R_1$  так как есть ток базы

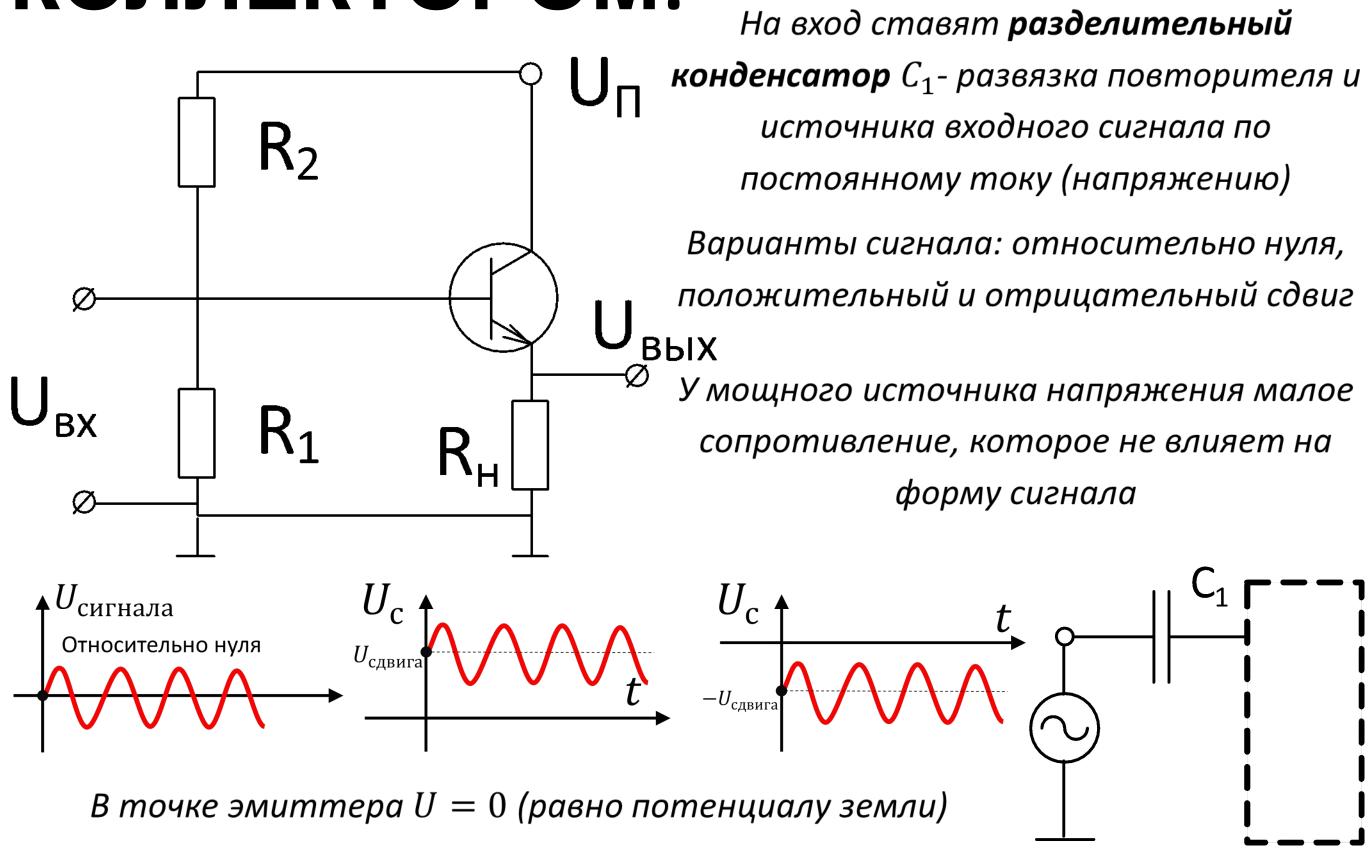
$$U_9 = \frac{U_{\text{BX}}}{2} - 0.6 = 4.4 \text{ B}$$

 $U_{\scriptscriptstyle 9} = \frac{U_{\scriptscriptstyle \mathrm{BX}}}{2} - 0$ ,6 = 4,4 В Усиливает ток в нагрузке, напряжение  $U_{\scriptscriptstyle \mathrm{BX}}$  примерно повторяет  $U_{\scriptscriptstyle \mathrm{BMX}} =$  $U_{\rm BX}+0.6$  со смещением

Усиление по напряжению близко к 1, поэтому данный каскад называют

### ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ

## СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:



# СХЕМАСОБЩИМ СХЕМОГОВ СХЕМОГОВ СХЕМОГОВ СХЕМОГОВ СХЕМОГОВ СХЕМОГОВ СХЕМОГОВ СХЕМОГОВ СТОРОМ:

Только положительные импульсы больше 0,6 V попадут на эмиттер (без использования разделительного конденсатора очень большая разница между  $U_{\rm BX}$  и  $U_{\rm BMX}$ )

Конденсатор  $C_1$  позволяет успешно работать как с входными сигналами симметричными относительно нуля, так и со сдвинутыми

(позволяет отвязать сдвиги сигналов)

Этот каскад имеет **большое входное сопротивление** и относительно **небольшое выходное**.

Входное сопротивление характеризует степень потребления энергии усилительным каскадом от источника сигнала.

a

# СХЕМА С ОБЩИМ Схем ПЛЕКТОРОМ:

**a +** Если входное сопротивление большое, то практически не потребляется энергия и это хорошо

Выходное сопротивление усилительного каскада характеризует его способность обеспечивать мощный сигнал на нагрузке (или на входе в следующий выходной сигнал)

Если они равны, то нагрузка напряжение делится пополам и  $R_{\scriptscriptstyle 
m BЫX}$  — НАГРЕВАНИЕ КАСКАДА;

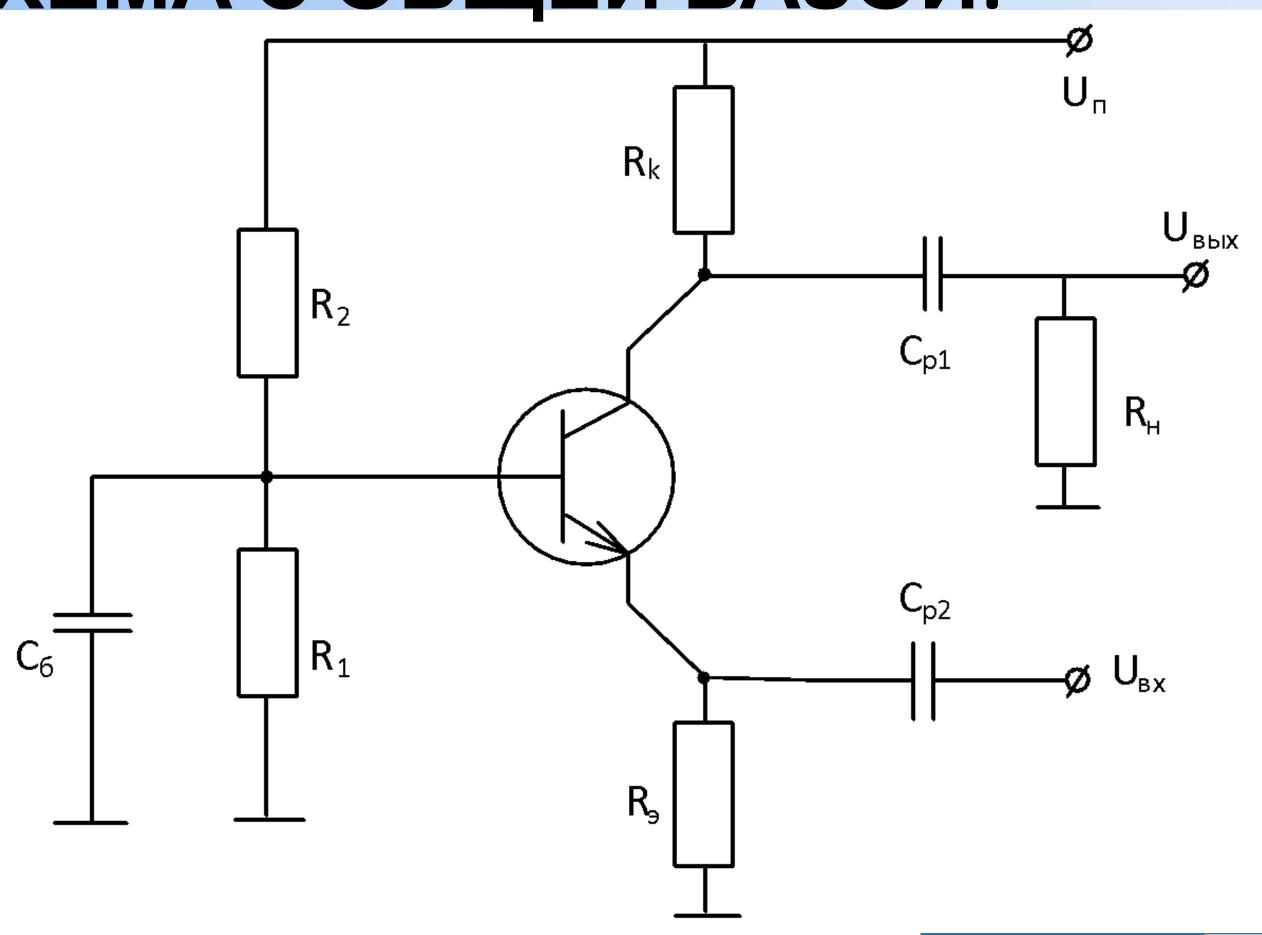
 $R_{\rm H}$  — ПОЛЕЗНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

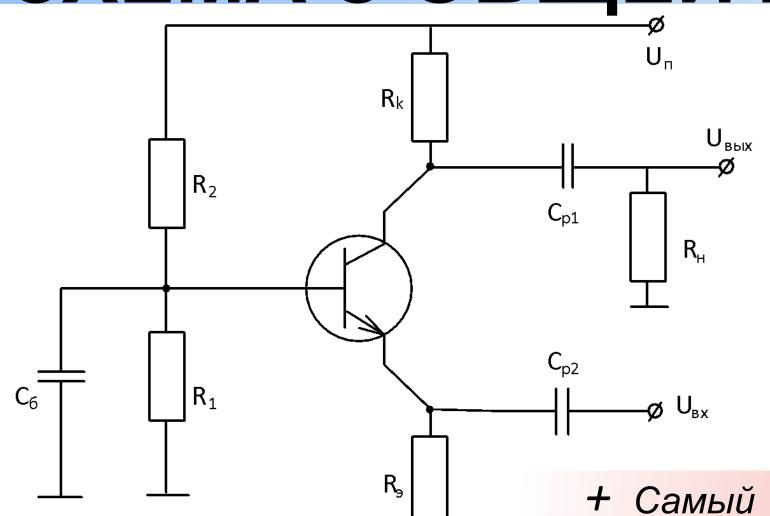
Чем меньше внутреннее сопротивление усилительного каскада, тем больше мощности может быть выдано из усилителя на  $R_{
m H}$  или другое

**Эмиттерный повторитель** имеет наименьшее из всех выходное сопротивление из всех ( $\approx$ 100-200 Ом — определяется  $R_1$  и  $R_2$ )

Сигнал не инвертируется (если на входе «+», то на выходе тоже «+», аналогично для «-»)

18.02.2021





Напряжение на базе не меняется в процессе работы каскада

Входной сигнал подаётся на эмиттер транзистора

Выходной сигнал снимается с коллектора транзистора

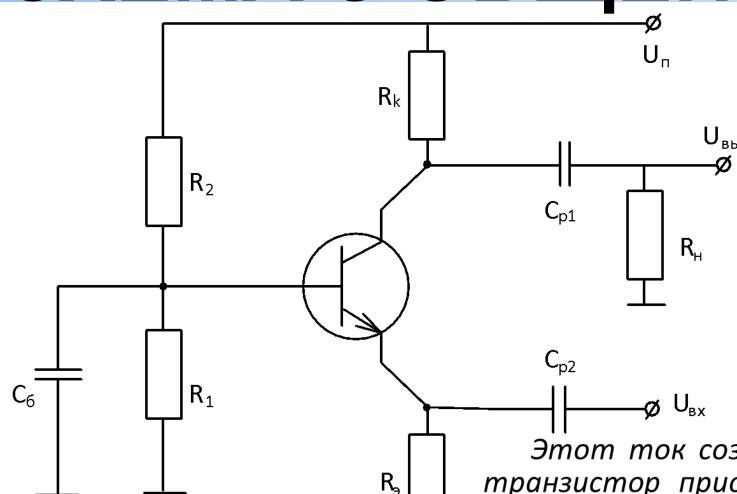
#### Плюсы/Минус

+ Самый большой коффициент усиления по напряжению (до 1000 и выше)

Усиление по току примерно 1

- Плохое входное сопротивление НИЗКОЕ
- Плохое выходное сопротивление **ВЫСОКОЕ**

Конденсаторы  $C_{\rm p1}$  и  $C_{\rm p2}$  не обязательно одинаковые,  $C_{\rm p}$  – разделительное  $R_{\rm H}$  – нагрузка, последующие пользователи



#### Работа каскада:

**Стационарное состояние** (отсутствие сигнала):

B исходном состоянии потенциал определяется резисторами  $R_1$  и  $R_2$ , данный делитель напряжения задаёт рабочую точку каскада (рабочий режим). Напряжение на эмиттере равно примерно напряжению на базе:  $U_6-0.6\ V$ .

Этот ток создаёт падение напряжения на  $R_{\rm K}$ , в целом транзистор приоткрыт и готов к усилению сигнала.  $C_{\rm G}$  (баластное) обеспечивает неизменное напряжение на базе для любых входных сигналов на  $U_{\rm BX}$ 

• Для пол**оженае**пьной полуволны:

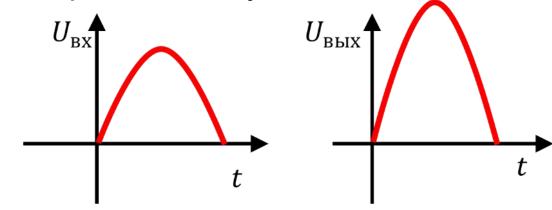
На вход подали

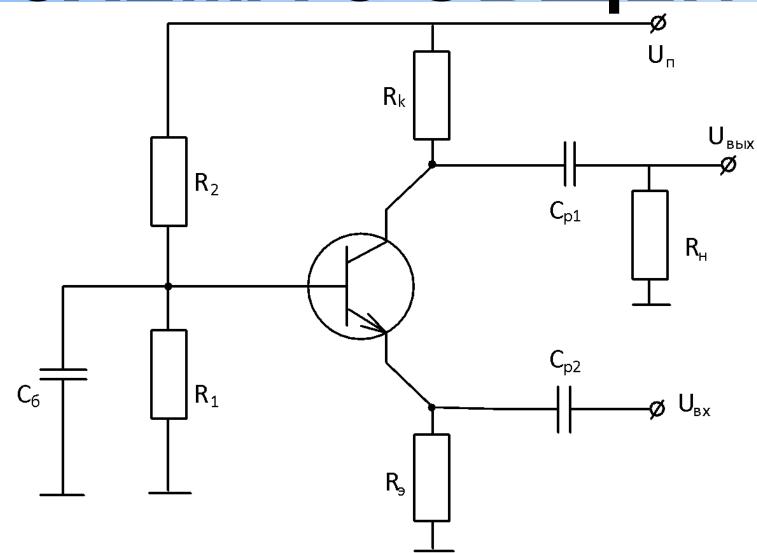
<u>синусоидальный</u>

Положительный сигнал на входе проходит на ЭМИТТЕР и повышает его потенциал. Так как на БАЗЕ напряжение фиксировано, разность потенциалов между БАЗОЙ и ЭМИТТЕРОМ начинает уменьшаться, что приводит к уменьшению тока БАЗЫ

Транзистор призакрывается  $\Rightarrow$  ток через него  $\downarrow$ , падение напряжения на  $R_{\kappa} \downarrow$ 

Потенциал коллектора ↑ Сигнал не инвертируется:





• Для отрицательной полуволны синусоиды:

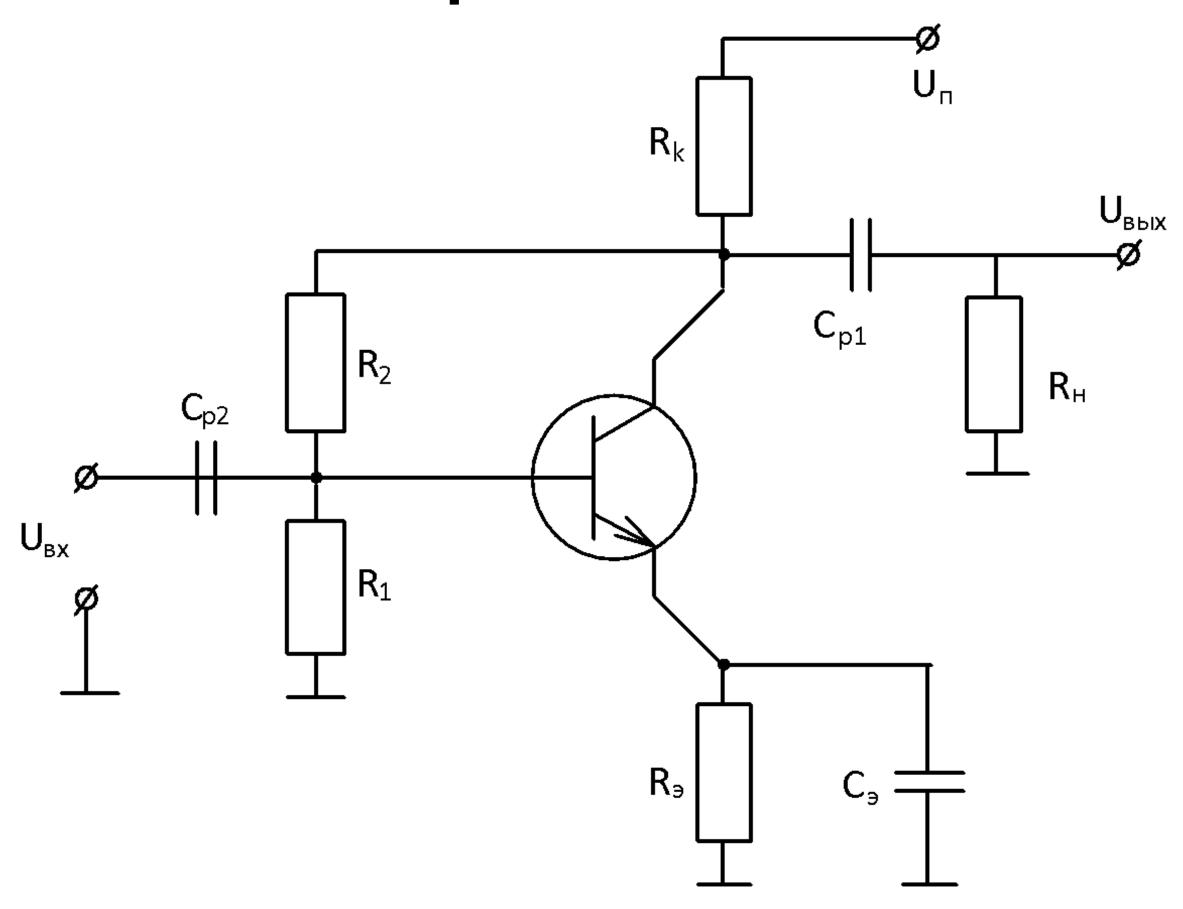
Она понижает потенциал
ЭМИТТЕРА, следовательно ↑
разность потенциалов между
БАЗОЙ и ЭМИТТЕРОМ ⇒ ток БАЗЫ ↑

Транзистор приоткрывается ощутимо больше

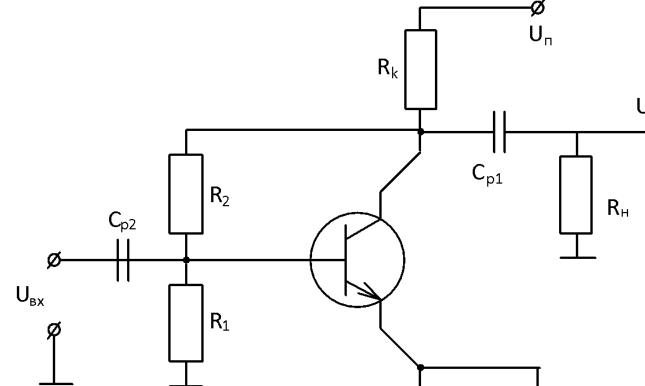
Ток через транзистор  $\uparrow \Rightarrow$  падение напряжения на  $R_{\rm K} \uparrow \Rightarrow$  напряжение стало ближе к нулю

Отрицательный сигнал вызывает понижение напряжения на КОЛЛЕКТОРЕ

Сигнал также не инвертируется



#### Плюсы/Минус



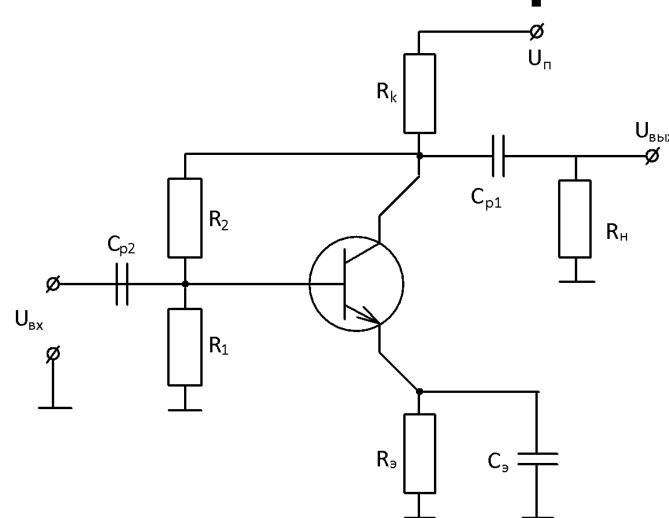
R∍

- данный сѣособ включения транзистора ∪<sub>вых</sub> обладает меньшим коэффициентом усиления —ø по току, чем эмиттерный повторитель
  - коэффициент усиления по напряжению ниже, чем у схемы с общей базой
  - входное напряжение хуже, чем у эмиттерного повторителя
  - выходное напряжение хуже, чем у эмиттерного повторителя, но лучше, чем у схемы с общей базой
  - + данный каскад обладает усилением и по току, и по напряжению ⇒ усиливает сигнал по мощности

$$K_{\text{ус.мощн}} = K_{\text{ус.тока}} \cdot K_{\text{ус.напряж}}$$

(единственный каскад, усиливающий по мощности. Наиболее часто встречается в схемах)

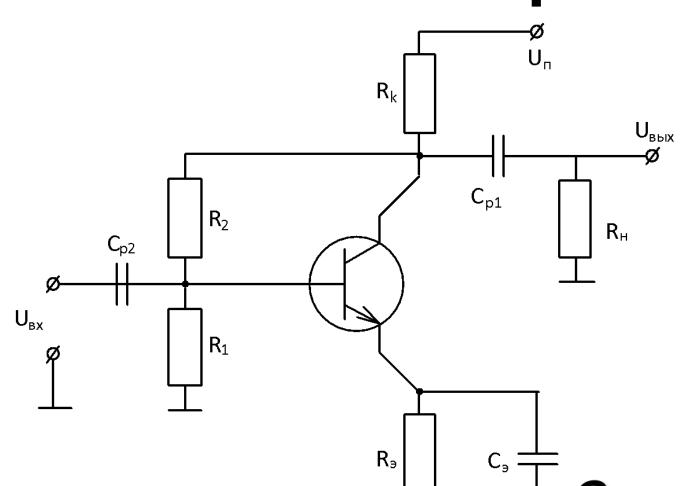
Используется для согласования входных и выходных каскадов
Входное и выходное сопротивления — среднее между ОК и ОБ
Входной сигнал поступает на БАЗУ
Снимается сигнал с КОЛЛЕКТОРА
Входной сигнал в процессе усиления ИНВЕРТИРУЕТСЯ



В схеме с общим эмиттером напряжение на ЭМИТТЕРЕ никак не меняется в процессе усиления сигнала. Это достигается за счёт конденсатора  $C_9$ , который заземляет эмиттер. В ряде схем эмиттер подсоединён к земле, это возможно, хоть и снижает температурную стабильность работы каскада

R<sub>3</sub> снижает термическую нестабильность (может отсутствовать). Но чаще в реальных схемах он присутствует, его наличие повышает стабильность работы каскада

 $R_{
m 9}$  обеспечивает ОТРИЦАТЕЛЬНУЮ ОБРАТНУЮ СВЯЗЬ по току, что снижает коэффициент усиления каскада и повышает его стабильность Однако в реальной схеме требуется максимально возможный коэффициент усиления, поэтому параллельно  $R_{
m 9}$  включают ДЕМПФИРУЮЩИЙ КОНДЕНСАТОР  $C_{
m 9}$  (исключающий конденсатор: исключает  $R_{
m 9}$  для переменного сигнала), никак не влияет на режим работы транзистора по постоянному току



(Конденсаторы на постоянный ток не оказывают влияния)

Для полезного сигнала (высокочастотная составляющая спектра) конденсатор  $C_9$  близок к короткому замыканию

Таким образом  $R_{\rm 9}$  не снижает коэффициент усиления для полезного сигнала, так как он закорочен конденсатором  $C_{\rm 9}$ 

Отрицательная обратная связь

ООС по току: если ток через транзистор  $\uparrow$ , вследствие этого  $\uparrow$  температура окружающей среды, тогда  $\uparrow$  падение напряжения на  $R_{\ni}$ , что приводит к  $\downarrow$  напряжения  $U_{\text{Б}\ni}$  БАЗЫ-ЭМИТТЕРА  $\Rightarrow$  транзистор призакрывается и ток через него  $\downarrow$ 

Величина падения тока в значительной степени компенсирует величину повышения тока вследствие нагрева

Существует несколько вариантов схемы с ОБЩИМ ЭМИТТЕРОМ:

### Отрицательная обратная связь по



Напряжение на его коллекторе стало повышаться:  $U_{\rm K} \uparrow \Rightarrow$  ток, текущий через  $R_2$  в БАЗУ стал  $\uparrow$  и данное повышение частично компенсировало понижение тока через транзистор

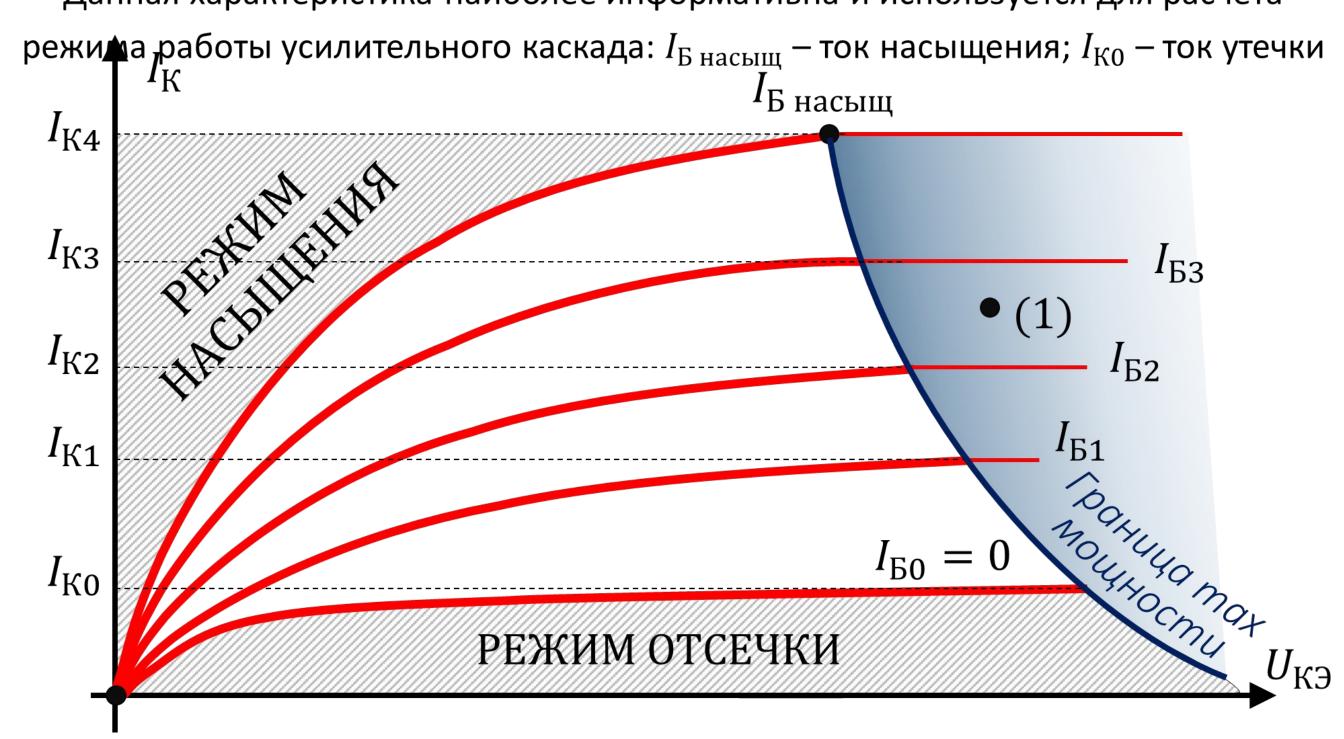
То есть данная ООС приводит к снижению усиления каскада, но при этом повышается качество усиления, то есть наблюдается меньшее число искажений в выходном сигнале

### Отрицательная обратная связь по

Напряжению: ВЫХОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНЗИСТОРА задаёт ток, через коллектор

в зависимости от напряжения на КОЛЛЕТОРЕ при различных токах БАЗЫ

Данная характеристика наиболее информативна и используется для расчёта



# Отрицательная обратная связь по на пражению:

ыПосле достижения тока насыщения дальнейшее увеличение тока не приводит к повышению напряжения

ГРАНИЦА МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ  $P_{max}$  показывает, какие рабочие точки усилительного каскада являются допустимыми с точки зрения максимально допустимого нагрева транзистора.

Можно использовать PAДИАТОР, который будет отнимать тепло, граница  $P_{max}$  будет смещена вправо. На мощные транзисторы можно ставить радиаторы.

Правее  $P_{max}$  — границы произведения  $I_{\rm K}$  и  $U_{\rm K3}$ : для таких точек мощность превышает указанную в техническом задании, прибор будет нагреваться вплоть до физического разрушения полупроводника.

**ОБЛАСТЬ РЕЖИМА ОТСЕЧКИ**: соответствует  $R \neq \infty$  , полностью закрытому транзистору (закрыться ещё больше не может)

**ОБЛАСТЬ РЕЖИМА НАСЫЩЕНИЯ**: соответствует полностью открытому транзистору (больше сопротивление уменьшаться не может, но  $R \neq 0$ )

### УНИВЕРСАЛЬНАЯ СХЕМА

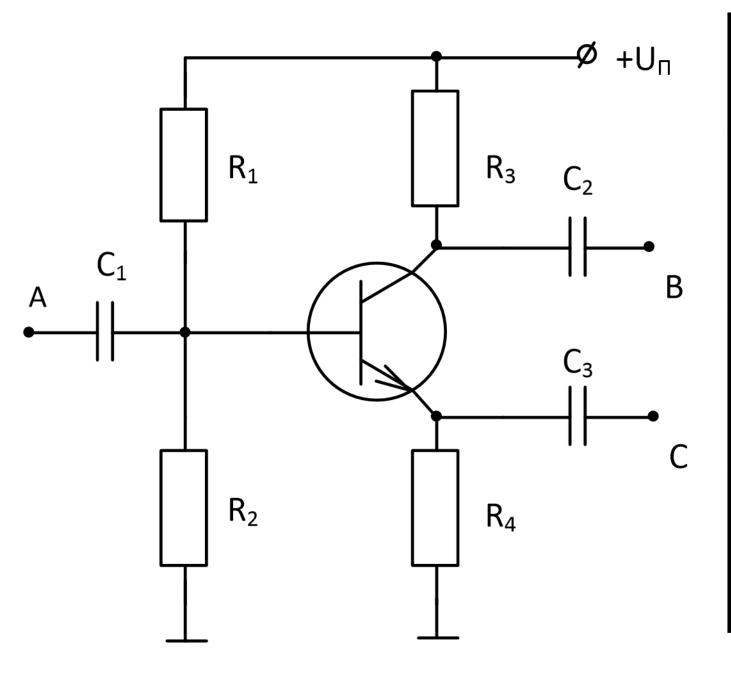


Схема вкл-я Точки	ОК	ОБ	ОЭ	
A	BX		BX	
В		вых	вых	
C	вых	BX		

# Сравнение схем

Схема	R, KOM		Коэффициенты усиления		
	Входное	Выходно е			
ОЭ	>10	220	>10100	>10100	<10 000
ОК	>100	>1	>10100		>10
ОБ	<0.1	>100		>10100	>10

# СОСТАВНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

### СОСТАВНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

### Схемы Дарлингтона и Шиклаи

ГЛАВНОЕ ДОСТОИНСТВО: высокий коэффициент усиления по току β статическое

$$\beta_{\text{CTAT}} = \beta_{\text{CTAT}} \cdot \beta_{\text{CTAT}}$$
COCT.TP TP 1 TP 2

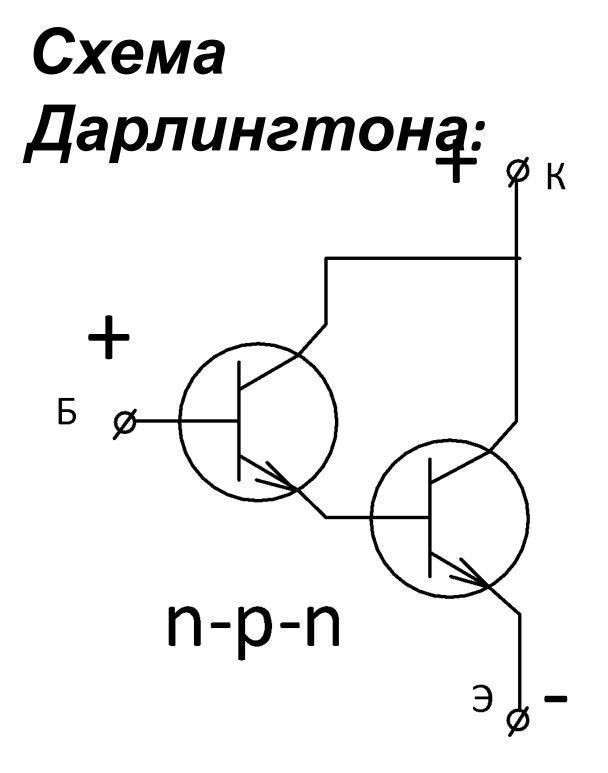
- + Повышается входное сопротивление
- Увеличивается входное напряжение открывания составного транзистора (удвоенное напряжение обычного: 1,4-1,5)
- Невысокий КПД при работе в ключевом режиме
- Пониженное быстродействие

#### Отличие схем:

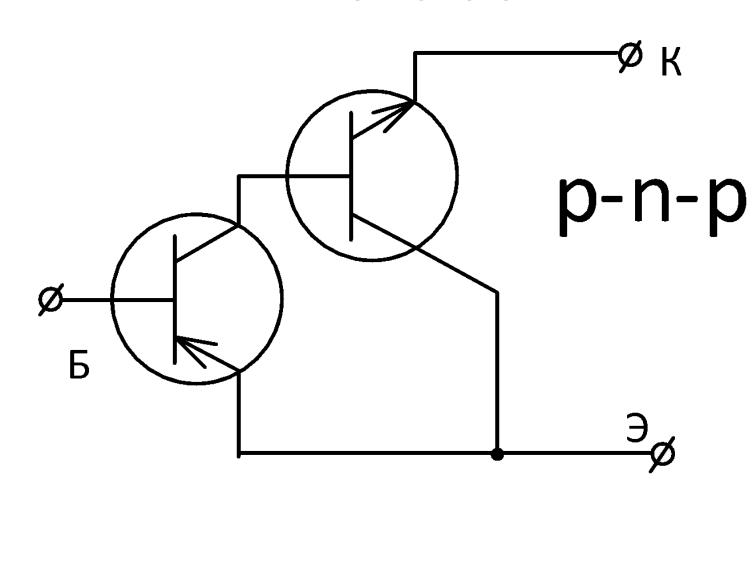
<u>Схема Дарлингтона</u> строится на транзисторах одной проводимости (pnp-pnp / npn-npn)

<u>Схема Шиклаи</u> строится на транзисторах разной проводимости (pnp-npn / npn-pnp)

### СОСТАВНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ



### Схема Шиклаи:



# УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ. ДВУХТАКТНЫЙ ВЫХОДНОЙ КАСКАД

(обычно сигнал звукового диапазона)

- + Предельная простота. Схема состоит из двух транзисторов
- Высокий уровень искажений входного сигнала, за счёт эффекта искажений типа «ступенька»

В схеме используются 2 транзистора, каждый включен по схеме эмиттерного повторителя

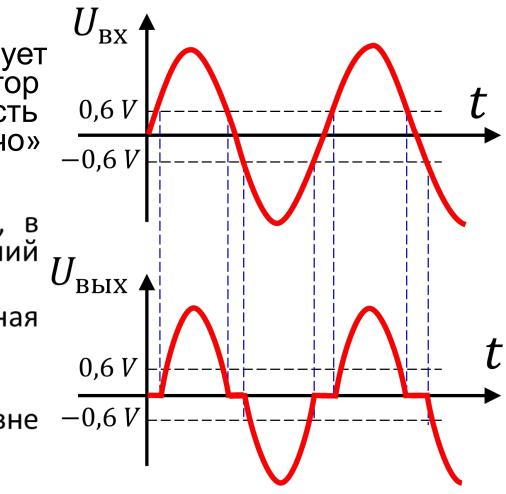
-15V Двухплечевая схема, в ней присутствует «верхнее плечо» и «нижнее». Верхний транзистор («верхнее плечо») усиливает положительную часть синусоиды, нижний транзистор – «нижнее плечо» усиливает отрицательную часть синусоиды

Пусть на вход поступает положительная полуволна, в области малых сигналов ( $\mp 0,5$ ) ни верхний, ни нижний транзисторы не отроются.

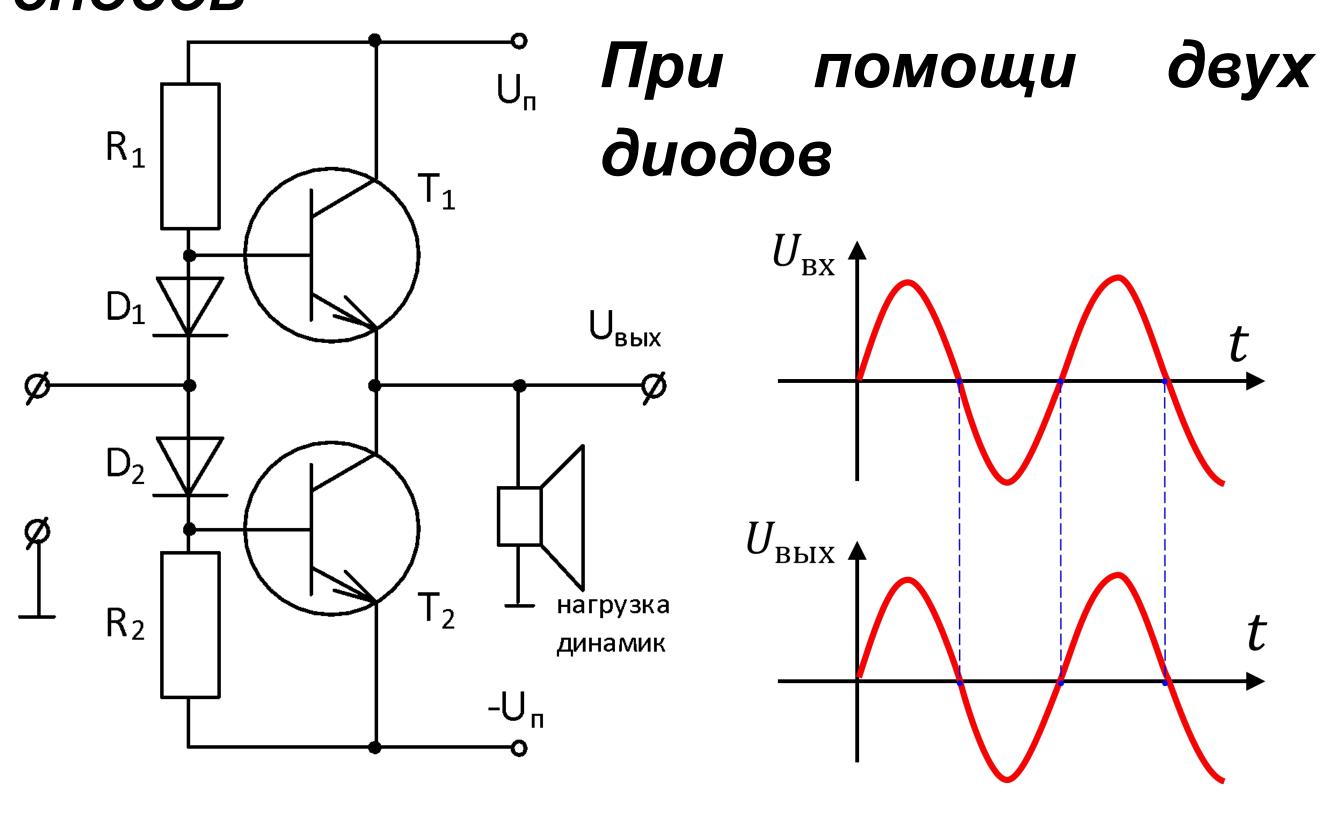
На выходе будет прямая линяя (выглядит как длинная ступенька)

Это придаёт звуку хриплость и роботоподобность

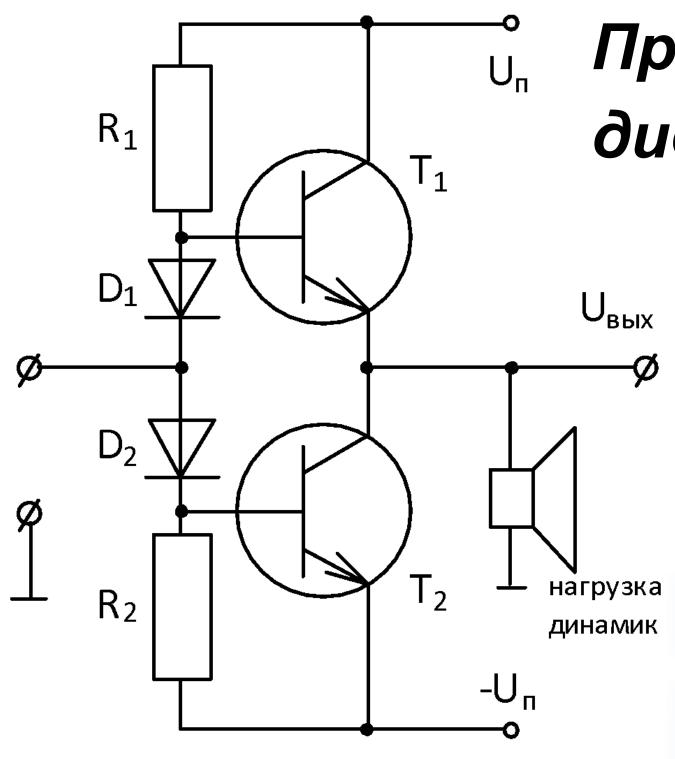
Транзисторы открываются при определённом уровне входного сигнала (0,6-0,7 V)



# МЕТОД «БОРЬБЫ» С ИСКАЖЕНИЯМИ: ПРОСТОЙ СПОСОБ



# МЕТОД «БОРЬБЫ» С ИСКАЖЕНИЯМИ: ПРОСТОЙ СПОСОБ



### При помощи двух

О Поворова при нулевом входном сигнале напряжение между БАЗОЙ и ЭМИТТЕРОМ равно нулю. По мере увеличения/уменьшения входного сигнала на выходе ничего не менялось пока не было достигнуто напряжение 0,6 V.

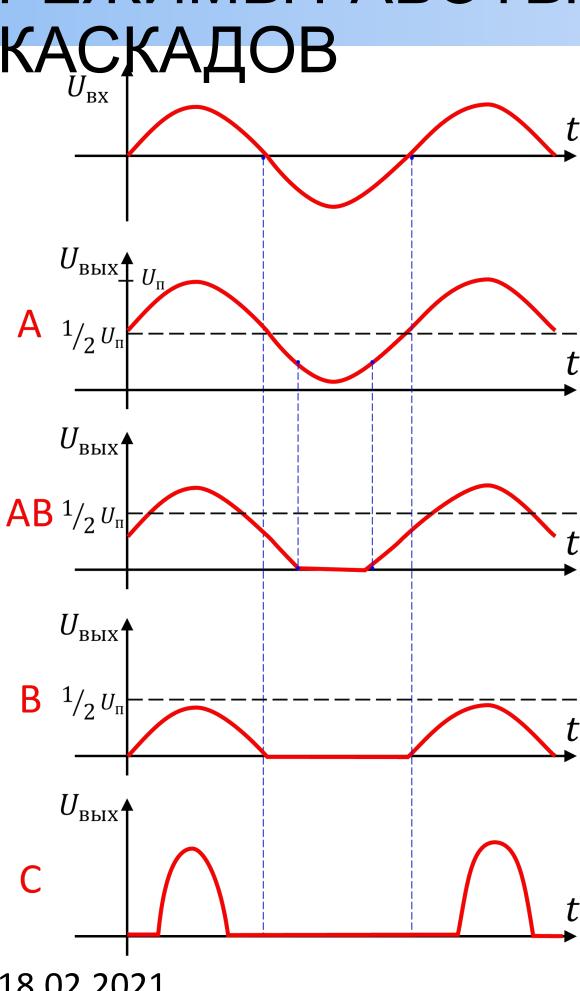
В новой схеме при нулевом входном сигнале напряжение между БАЗОЙ и ЭМИТТЕРОМ равно приблизительно 0,6 V, а не нуль. При нулевом входном сопротивлении сигнала транзисторы на грани открывания, достигается начальное смещение «ступеньки» 0,6 V: у верхнего: +0,6 V, а нижнего: -0,6 V.

За счёт падения напряжения на  $D_1$  при малейшем изменении входного сигнала в сторону «+» или «-» происходит открытие транзистора, и усиленный по току и мощности входной сигнал сразу появляется на нагрузке.

В данной схеме **отсутствует искажение типа «ступенька»** 

- $\blacksquare$  Открытие и закрытие транзисторов происходит не столько за счёт источников входного сигнала, сколько за счёт токов через резисторы  $R_1$  и  $R_2$ .
- Такой ток не может быть большим, так как иначе у каскада будет **низкий КПД** (греются  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $D_1$ , $D_2$ ) и ухудшается (уменьшается) входное сопротивление усилительного каскада, по этой причине источник сигнала должен быть мощным.

#### РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ



РЕЖИМ А: при любых допустимых уровнях входного сигнала транзистор усилителя не входит в режим насыщения или отсечки (всегда в активном режиме)

- + Низкие искажения, вносимые каскадом в усиливаемый сигнал, доли процентов
- Низкий КПД, <50% (обычно 20%)</li>

РЕЖИМ АВ: промежуточный между А и В, наличие небольшого тока покоя

- понижает КПД до 40-50%
- + заметно снижает нелинейные искажения

РЕЖИМ усилительный способен B: элемент воспроизводить либо только положительные, либо только отрицательные полуволны сигнала

- + высокий КПД (78%) ток покоя = 0 в отличие от А
- относительно высокие искажения, даже при использовании двух плечей, поэтому в реальных схемах чаще используют режим АВ

#### РЕЖИМ С:

- + Имеет высокий КПД
- Высокий коэффициент гармонии
- Сильные искажения

# нагрузка – резонансный контур

18.02.2021

#### РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ

РЕЖИМ D: особый режим, используется в усилителях специального типа, где транзисторы работают в *ключевом режиме* 

- + КПД примерно 100%
- + Нелинейные искажения снижаются за счёт специального преобразования входного сигнала: ШИМ

ШИМ – широкая импульсная модуляция (выходной сигнал – прямоугольный, соотношение низкого и высокого уровня пропорциональны входному сигналу

*КЛЮЧЕВОЙ РЕЖИМ:* транзистор в одном из двух состояний:

- полностью закрыт
- полностью открыт

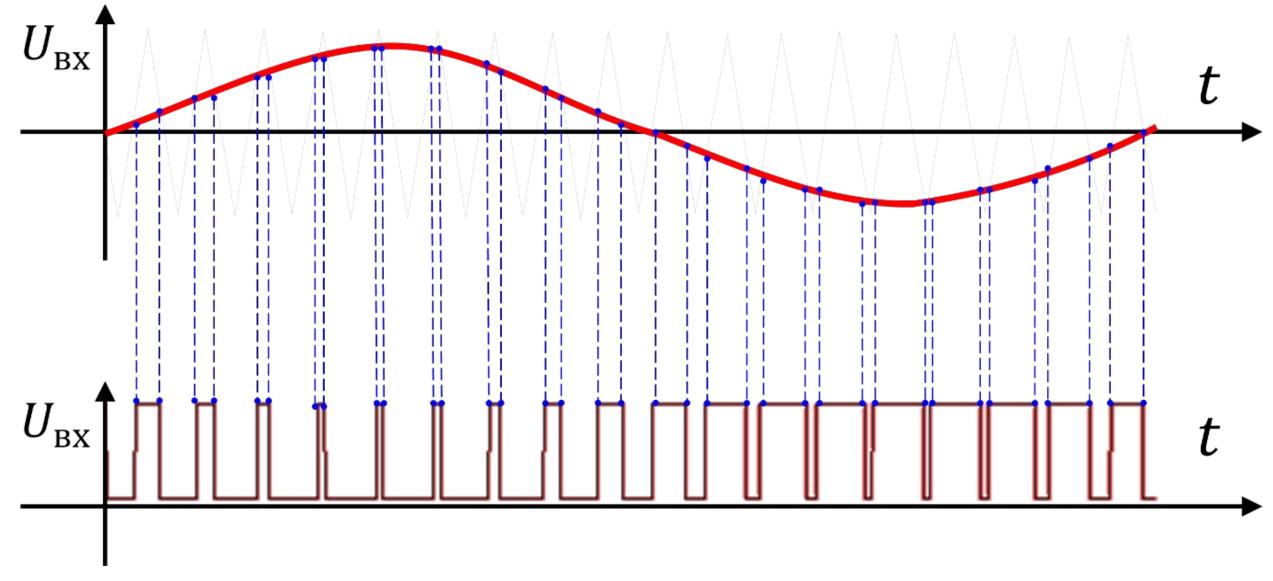
КОЭФФИЦИЕНТ ГАРМОНИИ – характеристика нелинейных искажений

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \cdots}}{U_1}$$

 $K_{\Gamma}=rac{\sqrt{U_2^2+U_3^2+\cdots}}{U_1}$ , где  $U_1$  (основная),  $U_2,U_3,\dots$  - спектральные составляющие в спектре выходного сигнала

$$K_{\Gamma}=rac{K_{
m HM}}{\sqrt{1+K_{
m HM}^2}}$$
, где  $K_{
m HM}$  – коэффициент нелинейных искажений

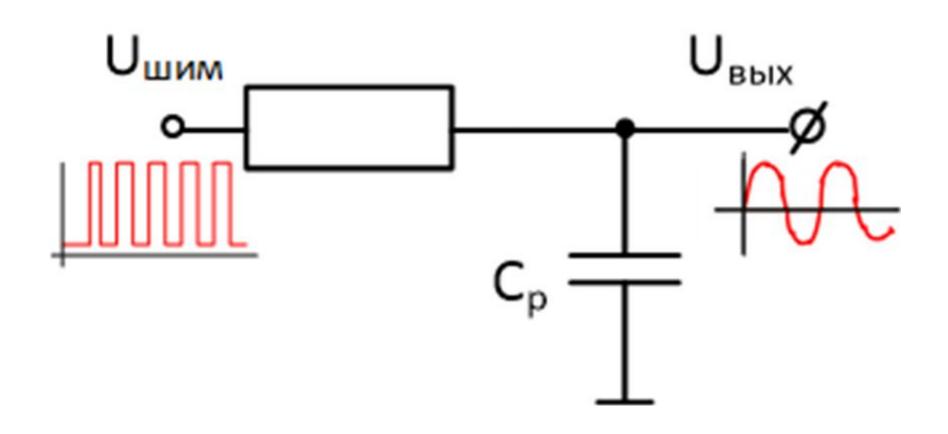
### РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ



Сигнал сначала преобразуется, потом используя фильтр получаем необходимый результат

- + Высокий КПД
- + Низкий коэффициент гармонии

### РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ



### Интегрирующий фильтр: позволяет

строить мощные каскады с нормальными, приемлемыми искажениями