

ЭЛЕКТРОНИКА

Яблоков Евгений Николаевич

Telegram: @Kabal_master

Лекции были абсолютно честно украдены

Простейшие элементы электронных схем

Резистор

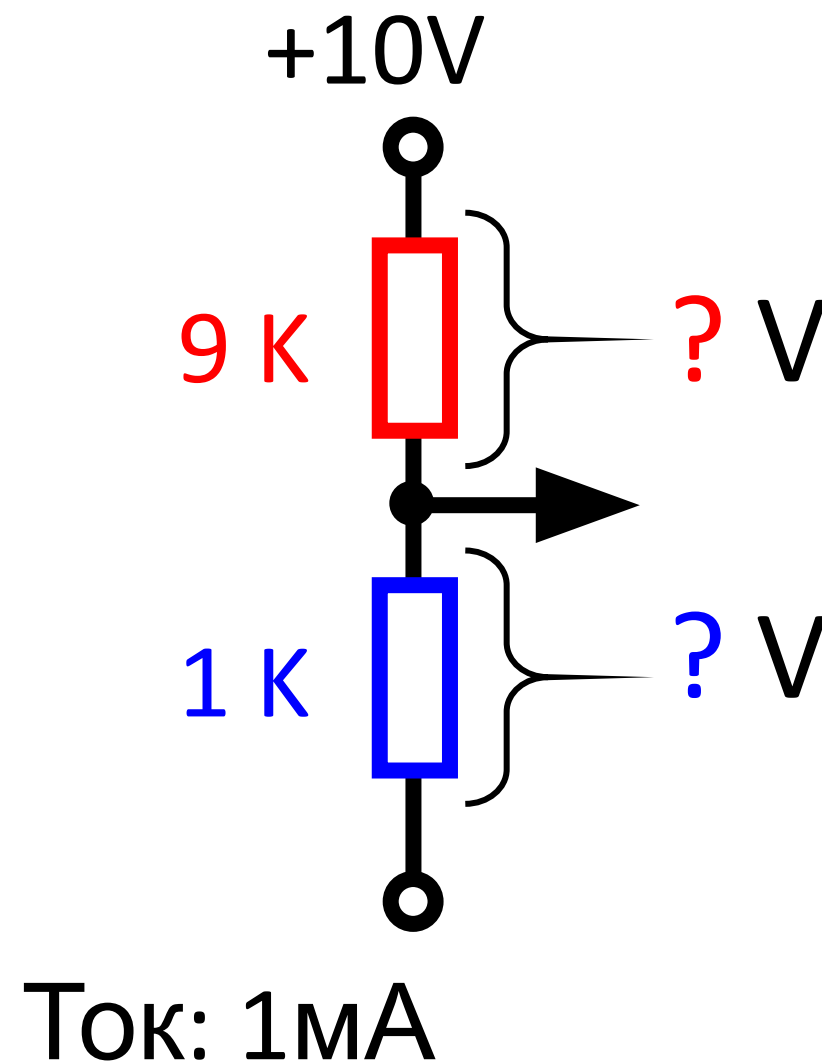
РЕЗИСТОР – простейший элемент электронных

схем

Пример

Отве

т:



Резистор

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 более частый, 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% - E6 всего 6 номиналов + расширения приставками
(кило, мега и т.д.)

Для точности 5% - 24 значения;
18.02.2021

Резистор

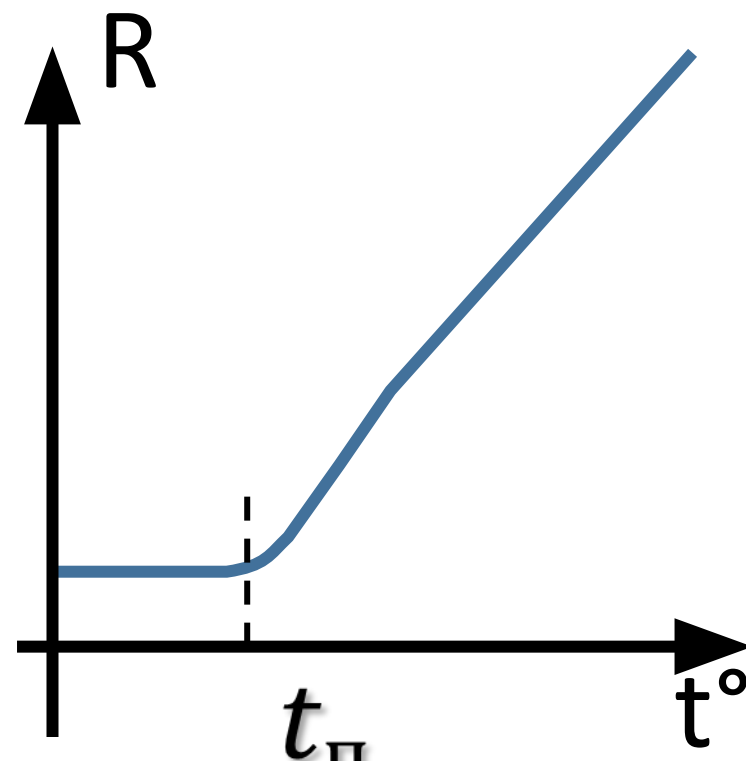
В) Температурный коэффициент: ТКС

Изменение сопротивления резистора с изменением температуры

ТИПЫ РЕЗИСТОРОВ		
ТЕРМОСТАБИЛЬНЫЕ	ТЕРМИСТОРЫ ($TKC < 0$)	ПОЗИСТОРЫ ($TKC > 0$)
При изменении температуры слабо реагирует Относительно стабильные характеристики	ТЕРМОЗАВИСИМЫ	
	- сопротивление резистора уменьшается с ростом температуры	- с ростом температуры сопротивление резистора растёт
	NTC - Negative Temperature Coefficient	PTC - Positive Temperature Coefficient

Позисторы

Использование: Позисторы широко используются в качестве самовосстанавливающихся предохранителей



В начале сопротивление близко к нулю

Эффект обратной связи

t_π – 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 отдают тепло элементам системы.
- Плохо реагируют на частые включения/выключения.
- **Переходные процессы:** 5-15 секунд. Восстановление зависит

18.02.2021 от того, как именно позистор впаян в схему.

Позисторы

4) **Рассеиваемая мощность:** $P = I \cdot U$

Мощность – произведение силы тока на напряжение
 $[P] = 1 \text{ Вт}$

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. ГОСТ:

0,01; 0,025; 0,05; 0,062; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 5; 8;...500
(Вт)

Стандартный ряд возможных максимальных значений

Резистор

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

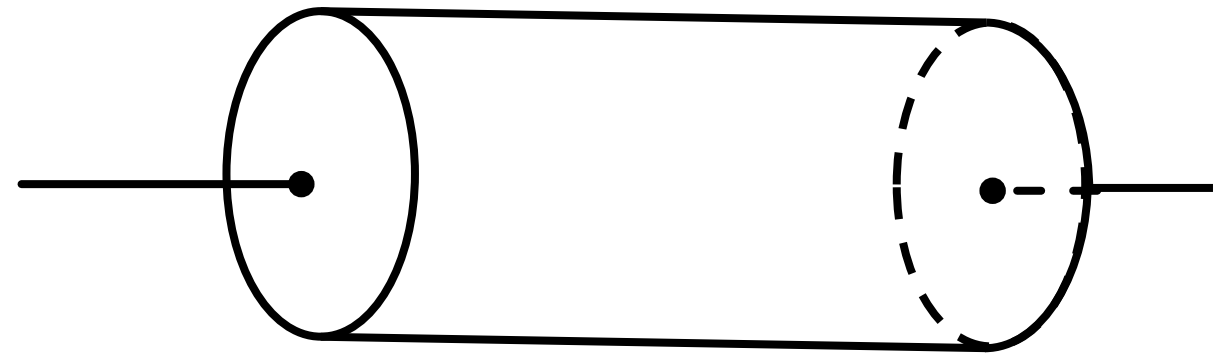
R15 – это не номинал, а номер по порядку в схеме



Вт

Резистор

Б) Способ монтажа:



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

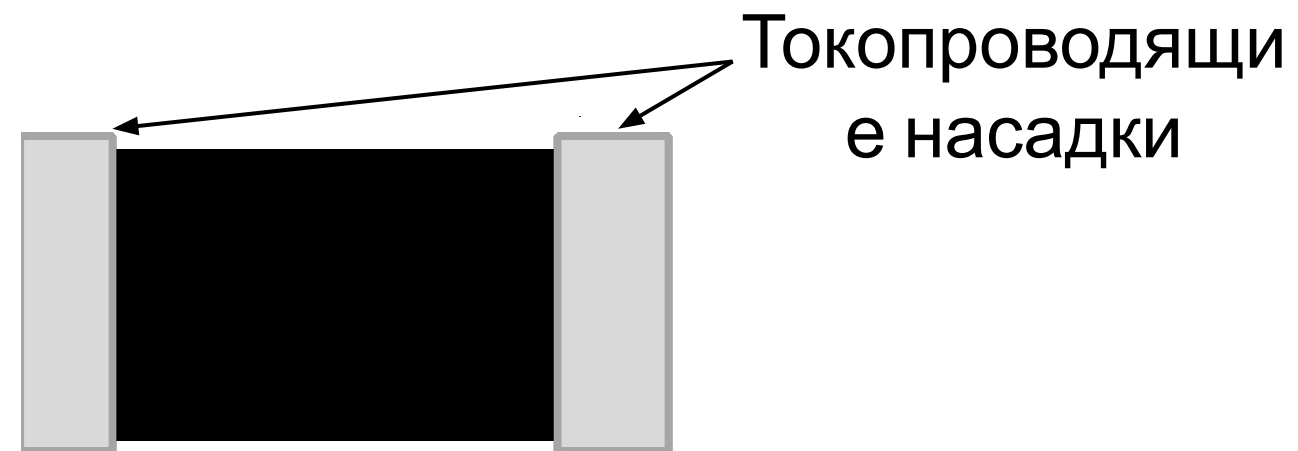
Минус:

- Необходимость в **ФОРМОВКЕ** – придании нужной формы (выгибание)

Применяются в мощных схемах с большим выделением тепла

Резистор

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**

Резистор

ХАРАКТЕРИСТИКИ:

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

Существуют классификации по форм-фактору (типоразмеру).



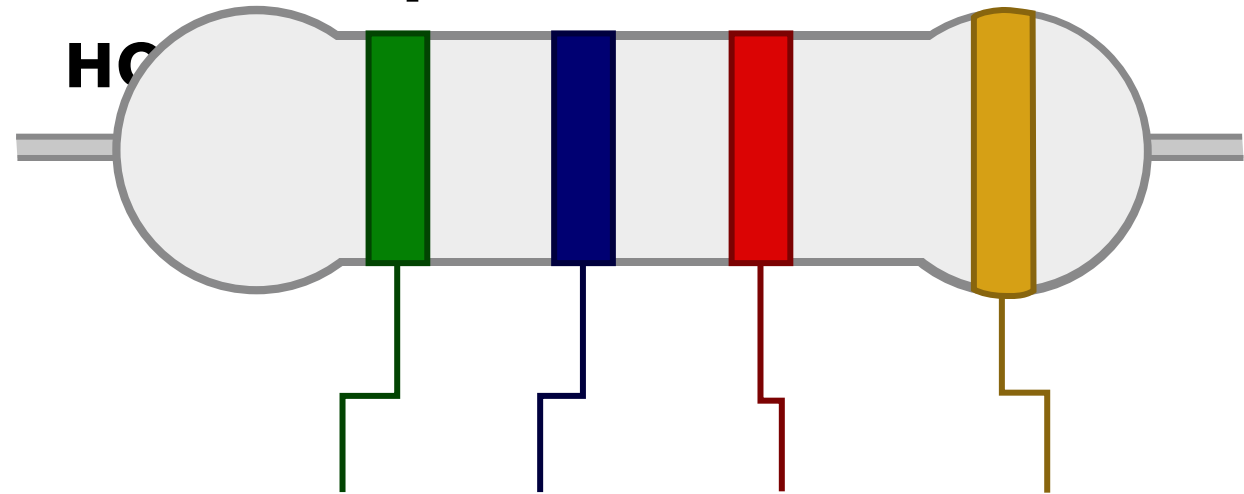
Размер	начно определяют	максимальную	рассеиваемую мощность.
0402	1.0	0.5	0.35
0603	1.6	0.85	0.45
0805	2.1	1.3	0.5
1206	3.1	1.6	0.55
2010	5	2.5	0.55

04 02 – размеры в дюймах (западная размерность)

**ОБОЗНАЧЕНИЕ
НОМИНАЛОВ
ВЫВОДНЫХ
РЕЗИСТОРОВ.
СИСТЕМЫ
ОБОЗНАЧЕНИЙ**

Системы обозначений

Резистор с 4 цветными



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	±2%
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
й
коричневы
й
красны
й
оранжевы
й
жёлты
й
зелёны
й
сини
й
фиолетовы
й
серы
й
белы
й
золото
й
серебряны
й

(В России эта система не

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 SMD-резисторах

3) **Цифровое обозначение:**

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

$$\boxed{513} - 51 \text{ кОм} - 51 \text{ К} (51 \cdot 10^3)$$

$$\boxed{510} - 51 \text{ Ом} - 51 \text{ } \Omega (51 \cdot 10^0)$$

$$\boxed{126} - 12 \text{ МОм} - 12 \text{ М} (12 \cdot 10^6)$$

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

Обозначение номиналов на SMD-резисторах

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

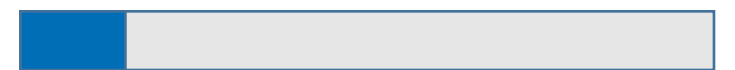
ТИПИЧНО: 2 цифры, 1 буква

Для расшифровки необходимы специальные таблицы

ПРИМЕР: 10C - 10 – код мантиссы; C – порядок
10 соответствует 124, C – соответствует 2

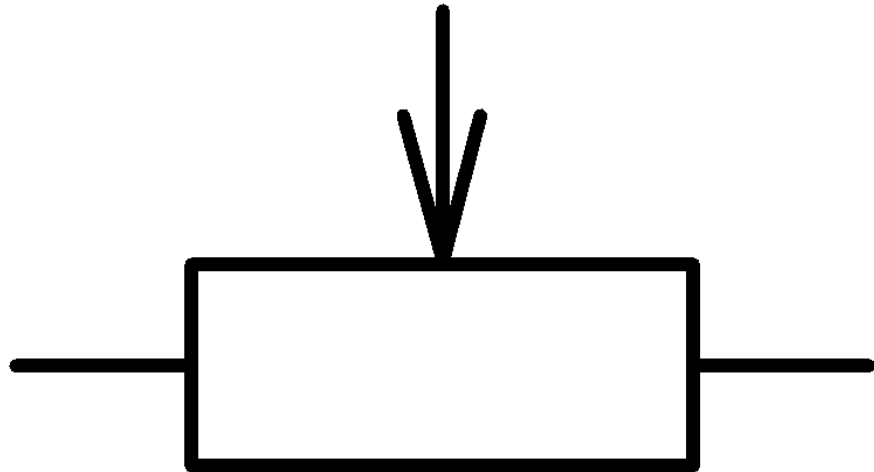
Имеем: $124 \cdot 10^2$

РАЗНОВИДНОСТИ РЕЗИСТОРОВ

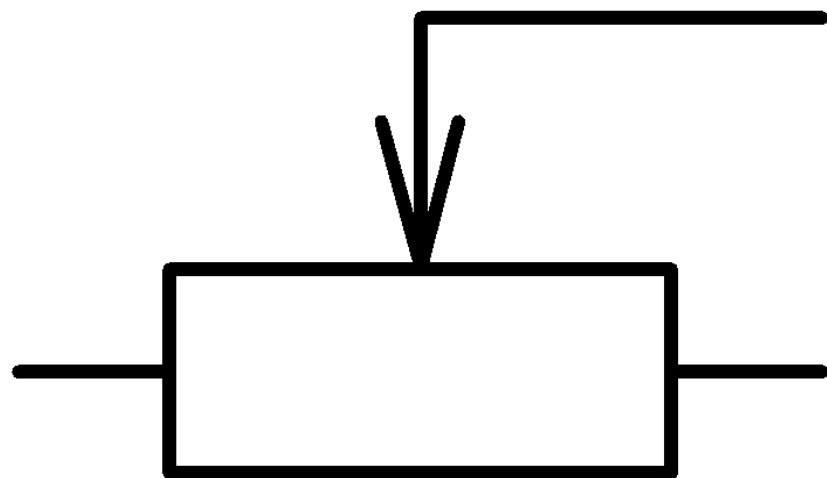


Разновидности резисторов

1) ПЕРЕМЕННЫЕ РЕЗИСТОРЫ:

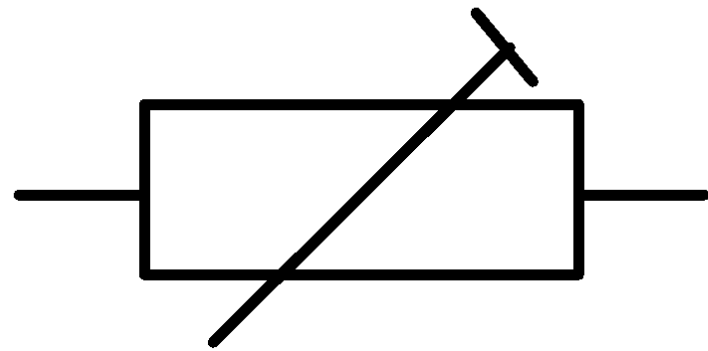
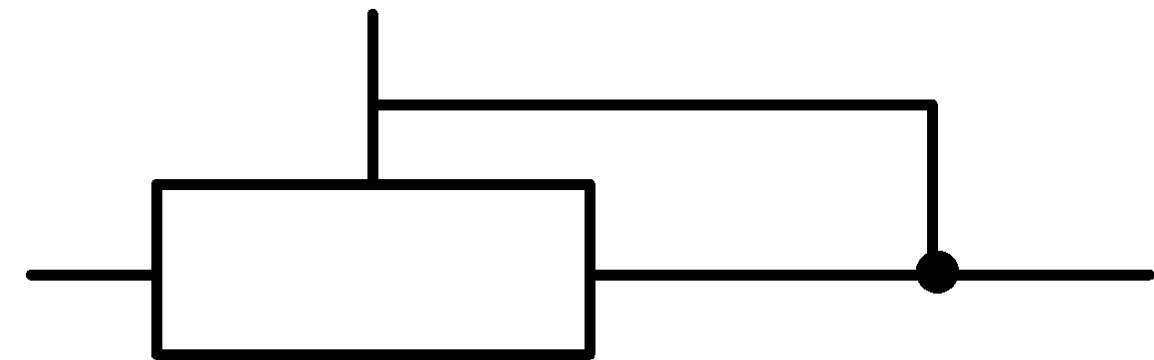


- Школьный
- Приёмники, радио с крутящимися ручками
- Потенциометр



Разновидности резисторов

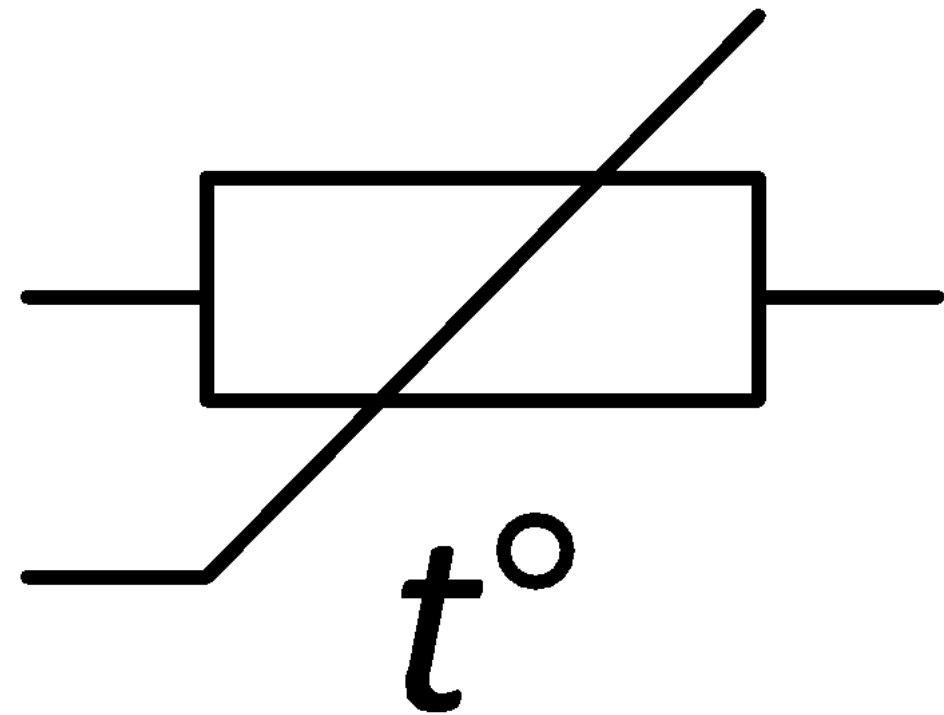
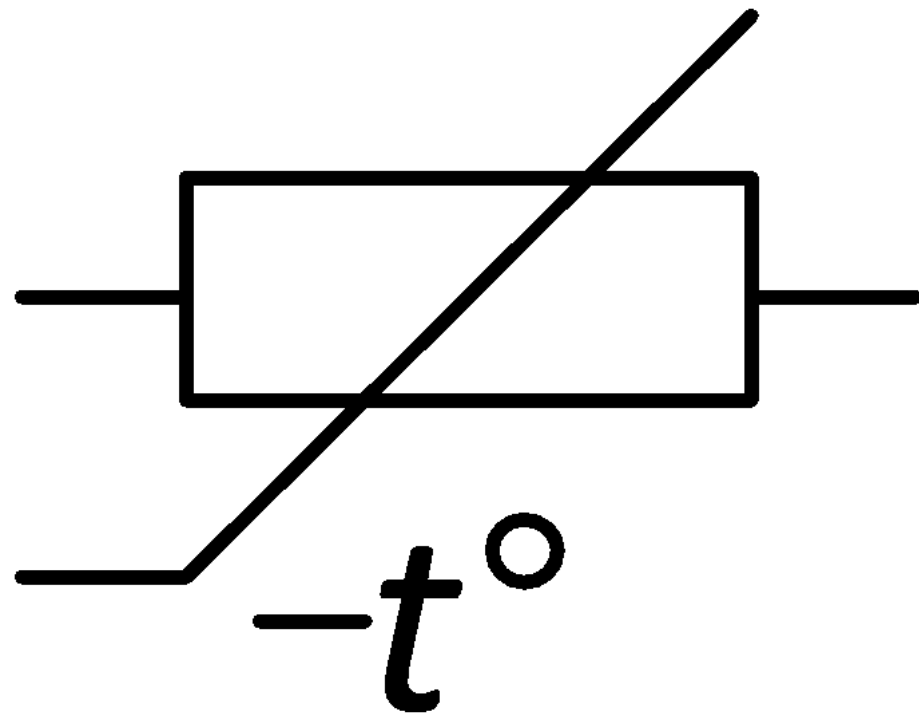
2) ПОДСТРОЧНЫЕ РЕЗИСТОРЫ:



- Применяются при настройке прибора, нет постоянной возможности изменять (крутить) без использования отвёртки
- При смещении ползунка влево – $R \downarrow$ до 0
- После настройки – фиксируем клеем, лаком или мастикой.
- Не для постоянного подстраивания

Разновидности резисторов

3) ТЕРМИСТОР, ПОЗИСТОР



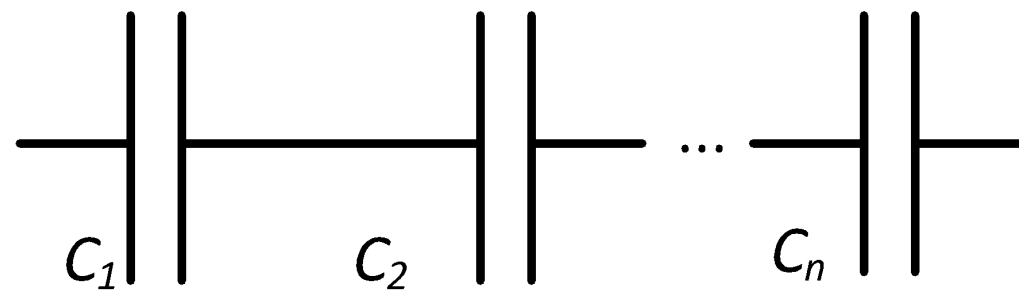
- *Сопротивление резистора зависит от температуры*

КОНДЕНСАТОРЫ

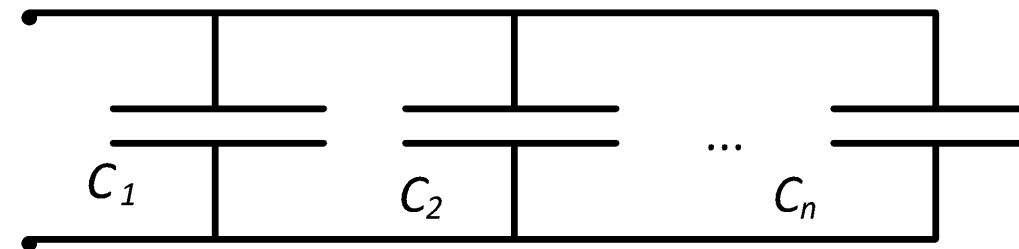
Конденсаторы

Формулы для соединений конденсаторов

Последовательн
ое



Параллельное



Конденсаторы

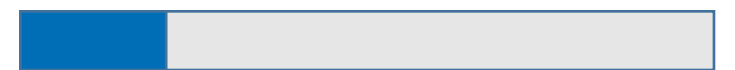
Бывают выводные и SMD

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

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

Единственный способ измерения ёмкости: **впаять в схему и измерить прибором**

ИНДУКТИВНОСТИ



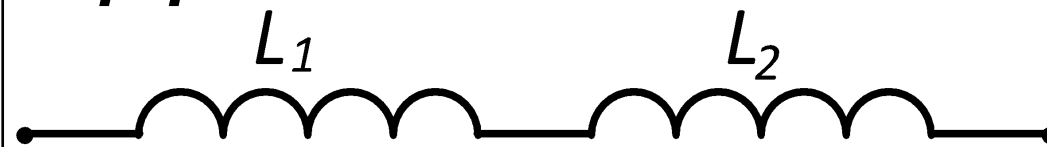
ИНДУКТИВНОСТИ

Огромное число разновидностей + различные сердечники

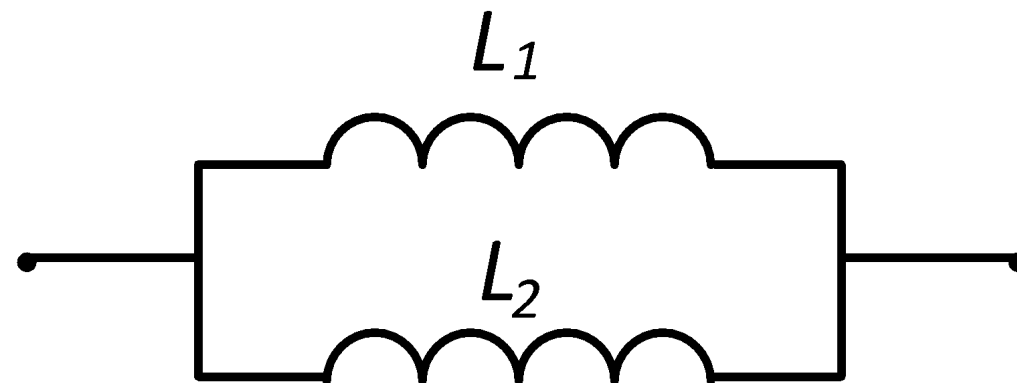
ФОРМУЛЫ ДЛЯ СОЕДИНЕНИЙ

ИНДУКТИВНОСТЕЙ

Последовательное

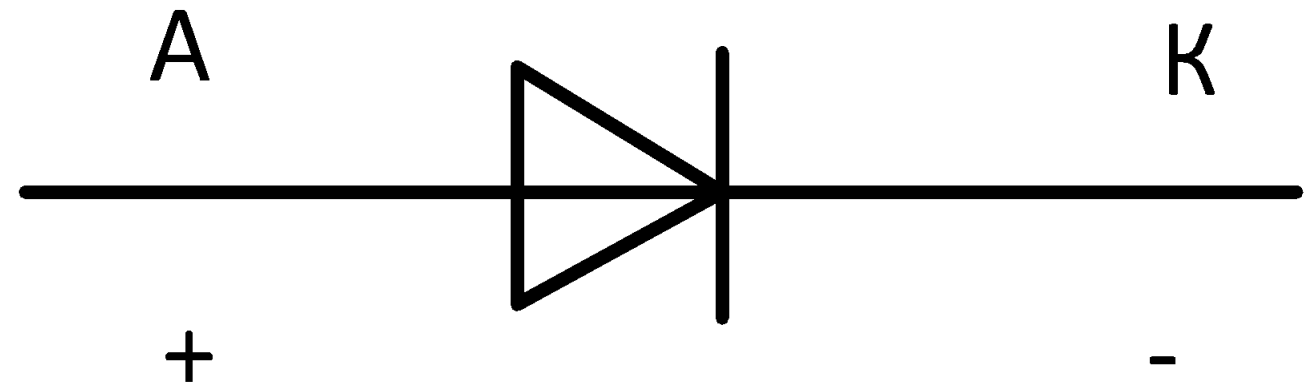
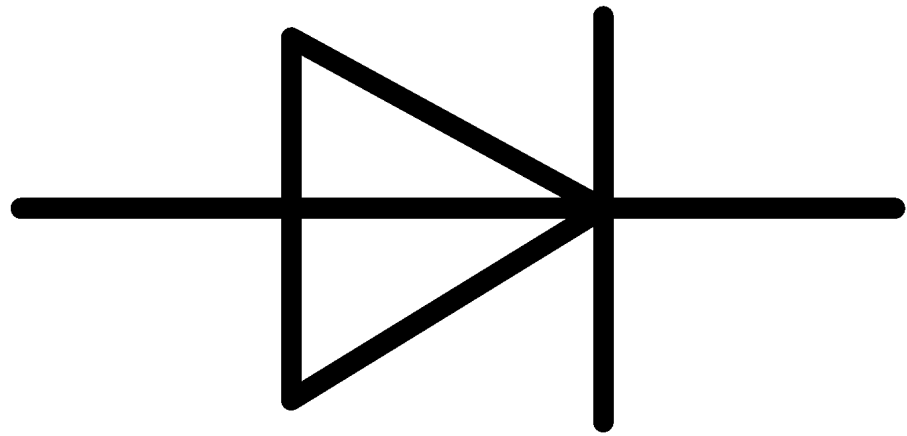


Параллельное



ПОЛУПРОВОДНИКОВ ЫЙ ДИОД

Полупроводниковый диод



A – анод K –

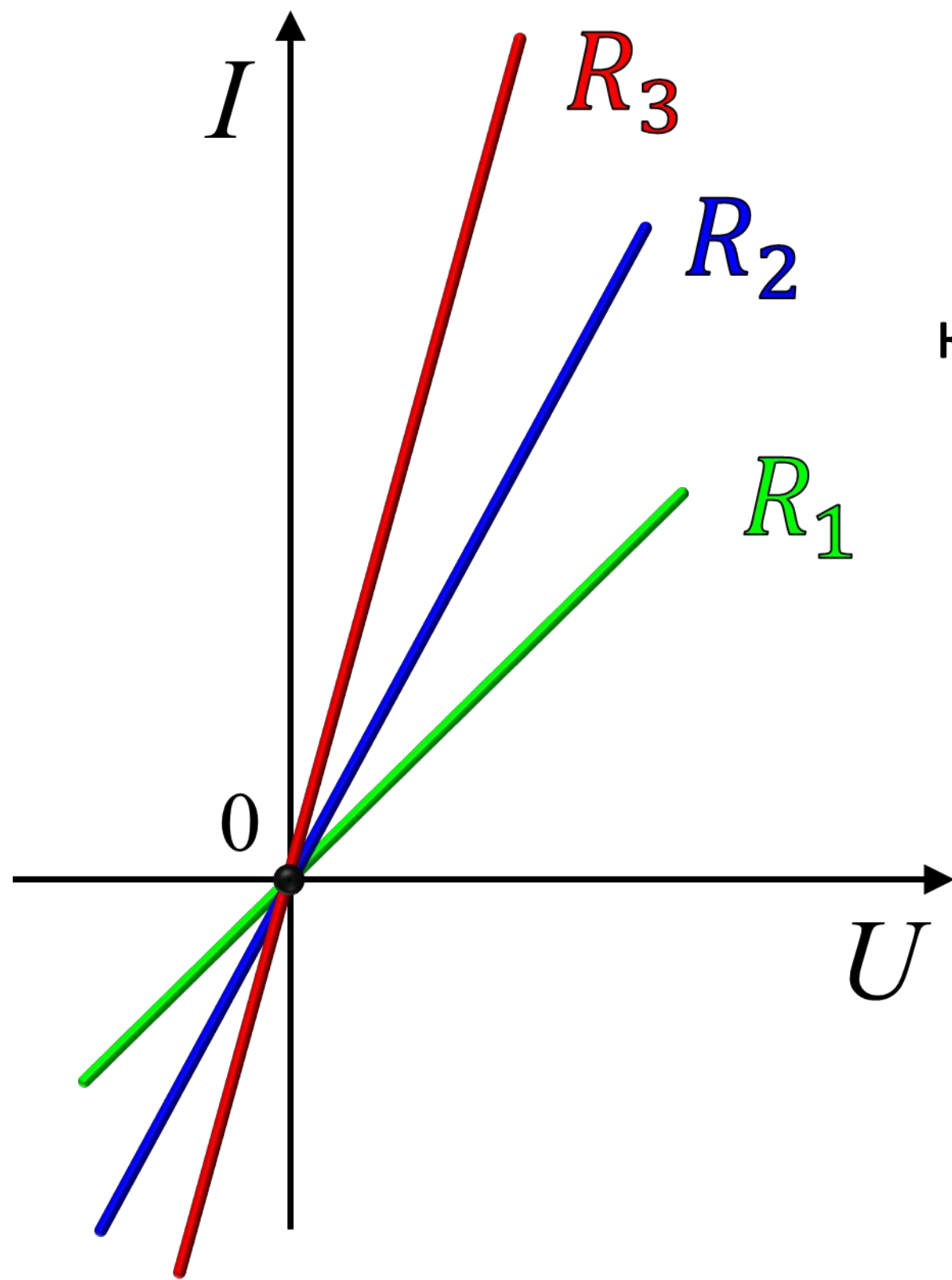
катод

Данный прибор **обладает односторонней 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: $t^\circ \uparrow \Rightarrow I_{\text{утечки}} \uparrow$

Полупроводниковый диод



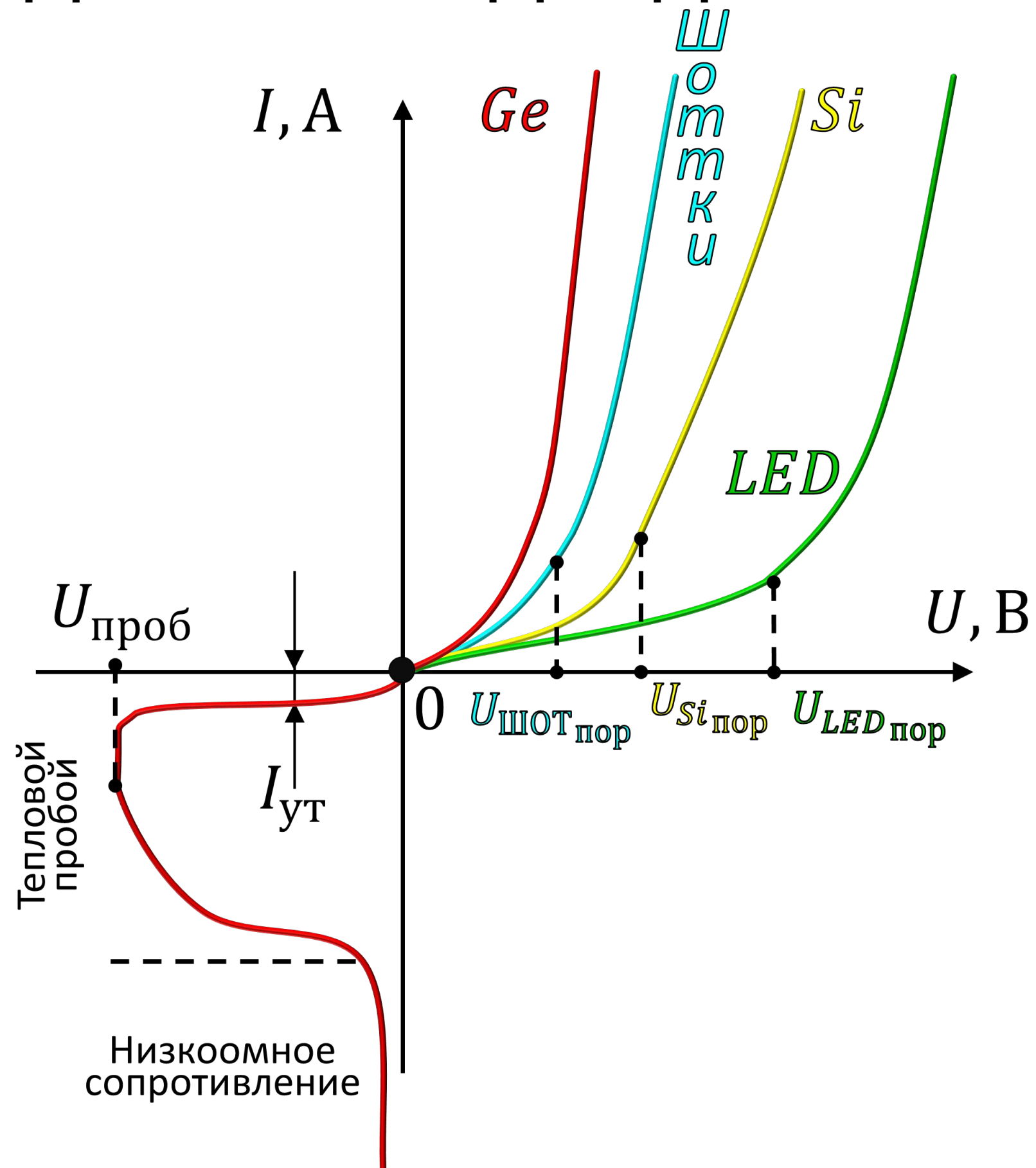
ВАХ: вольтамперная характеристика - график, у которого на абсцисс оси – **ВОЛЬТЫ**, а по оси ординат - **АМПЕРЫ**

ЗАВИСИМОСТЬ:

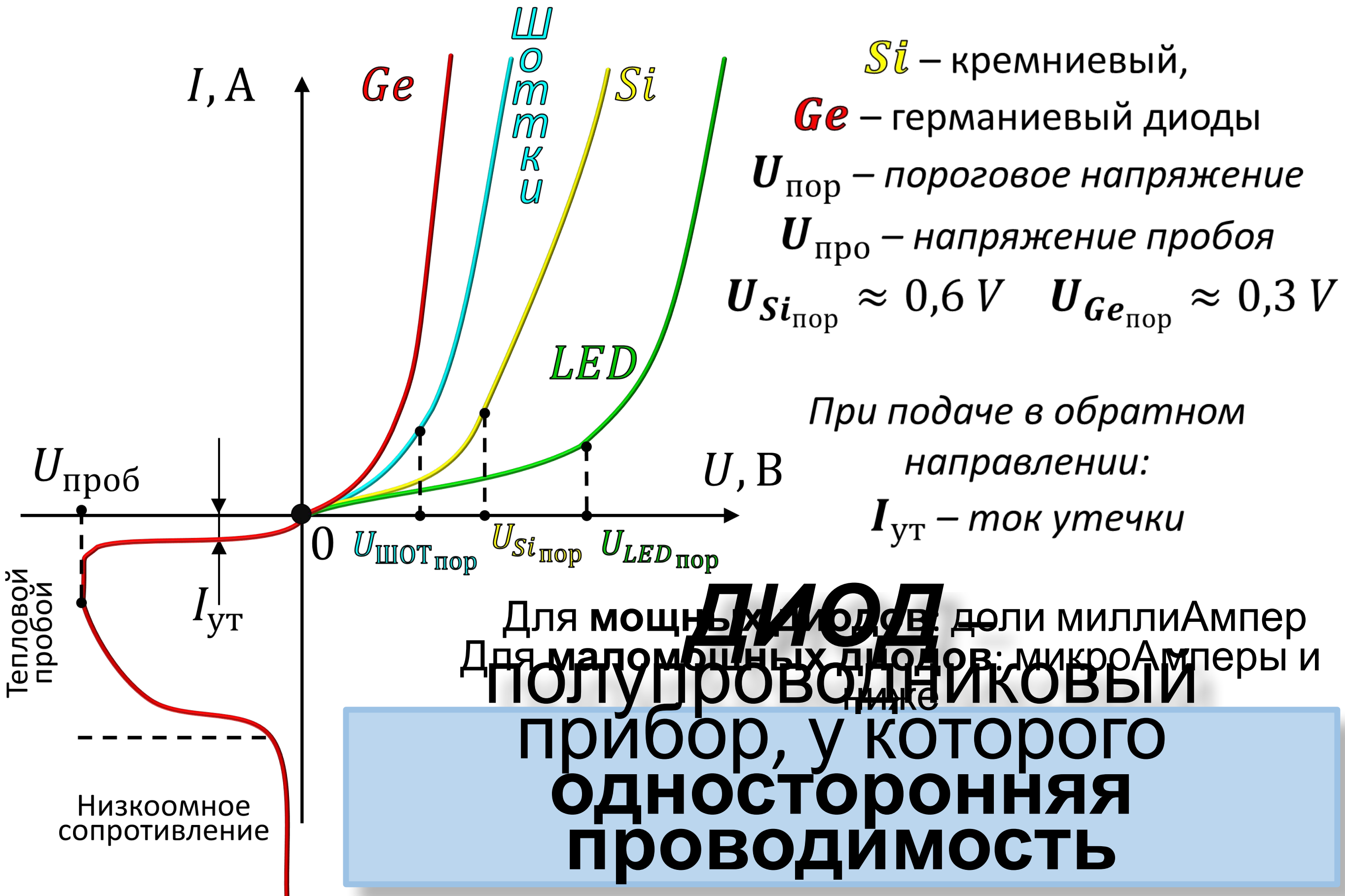
$$R_1 > R_2 > R_3$$

Чем меньше сопротивление, тем меньшим напряжением достигается больший ток

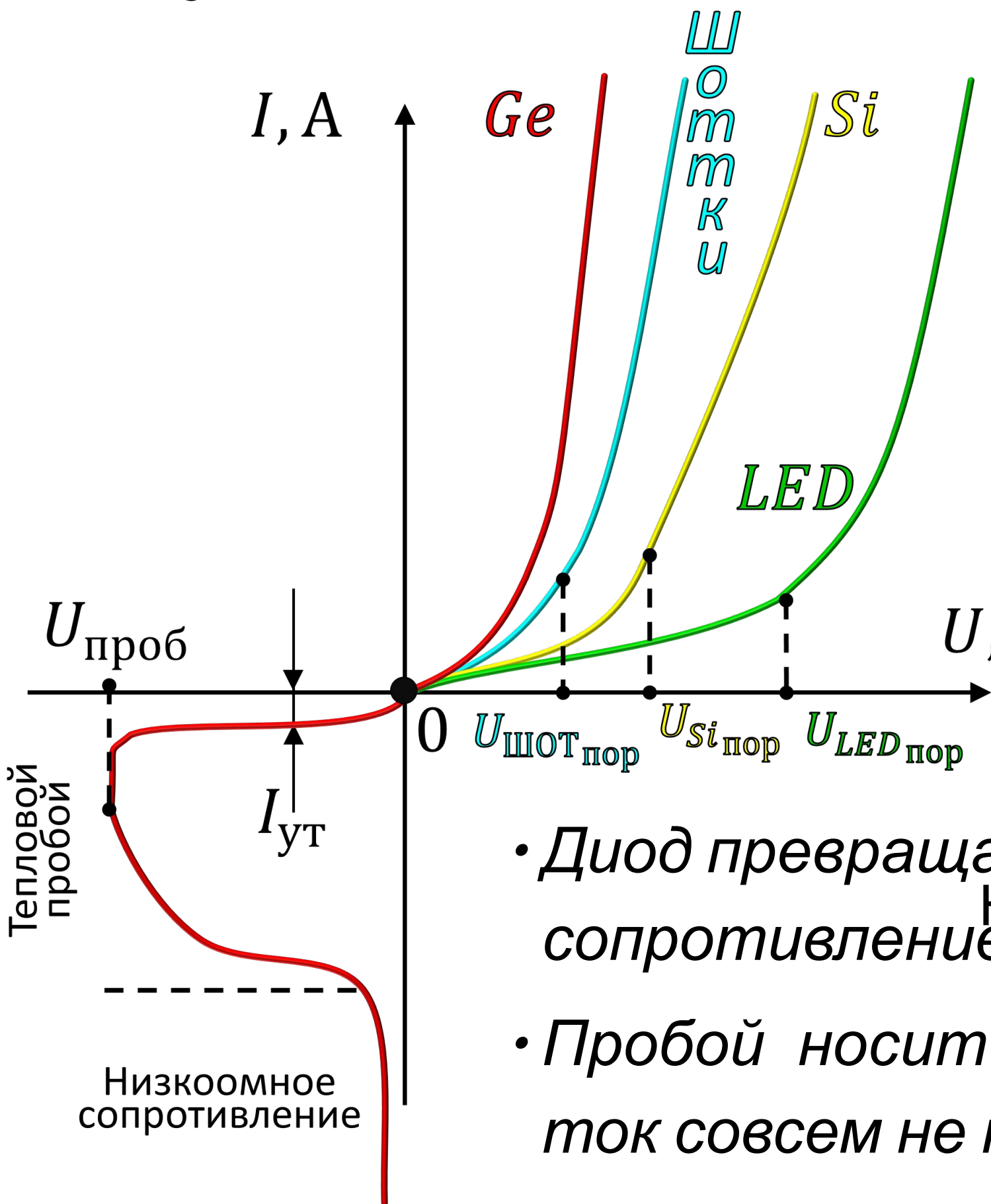
Полупроводниковый диод



Полупроводниковый диод



Полупроводниковый диод

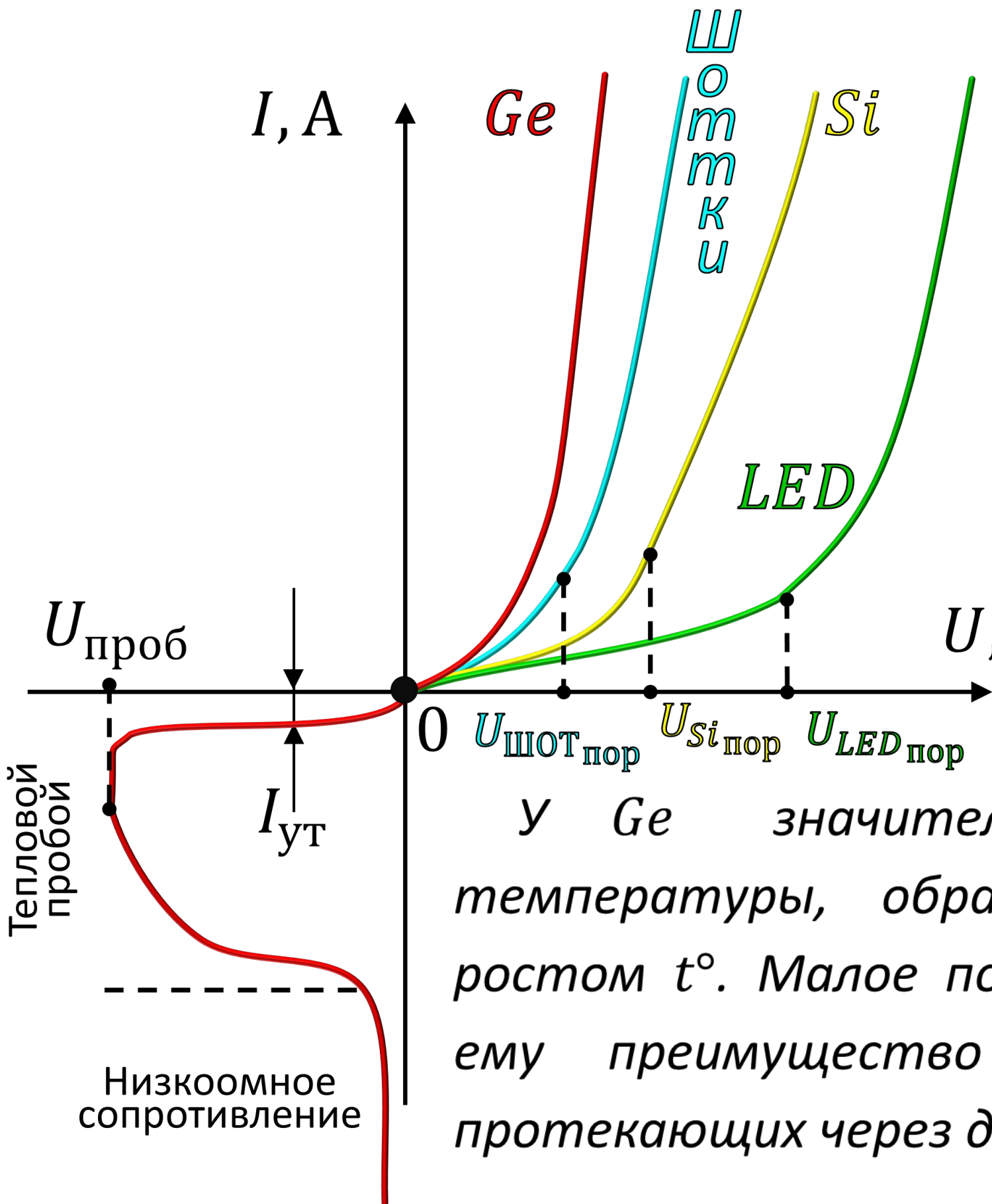


Электрической пробой переходит в **тепловое разрушение материала проводника**, диод

U, V выгорает и ведёт себя как резистор с малым сопротивлением.

- Диод превращается в проводник с малым сопротивлением. Но возможны **2 ситуации**:
 - Пробой носит характер разрыва цепи, ток совсем не течёт

Полупроводниковый диод



ВАХ диода зависит от материала полупроводника

Германий ранее широко использовался в полупроводниках, но в настоящий момент он почти вытеснен кремниевыми полупроводниковыми

устройствами. у Ge значительно хуже характеристики температуры, обратный ток резко растёт с ростом t° . Малое пороговое значение для Ge даёт ему преимущество в случае больших токов, протекающих через диод.

Полупроводниковый диод

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

С ростом температуры увеличивается ток утечки

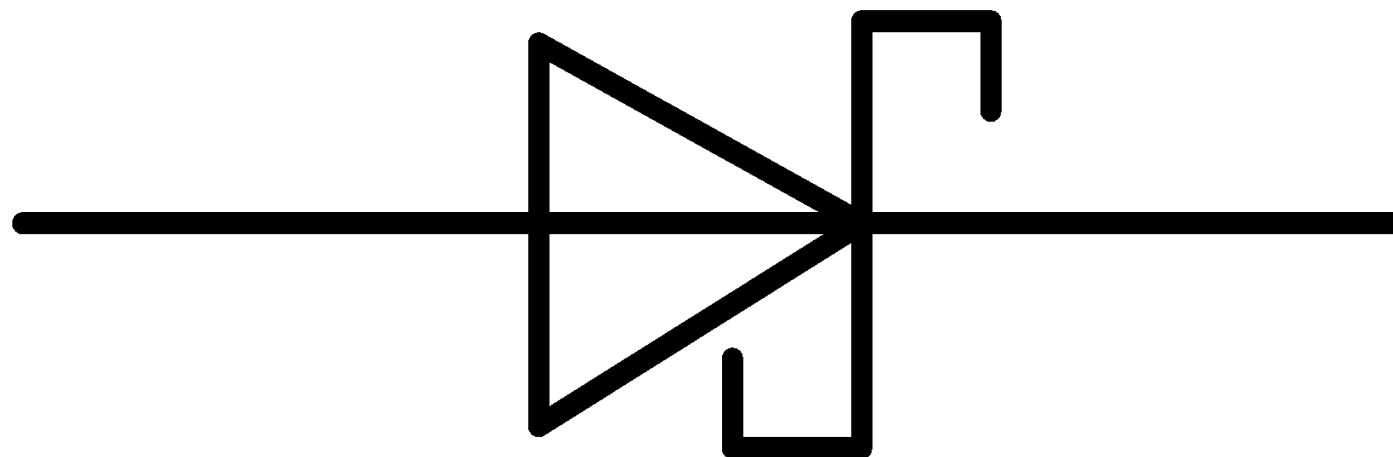
- 5) Частотные свойства диода

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

ДИОД ШОТТКИ

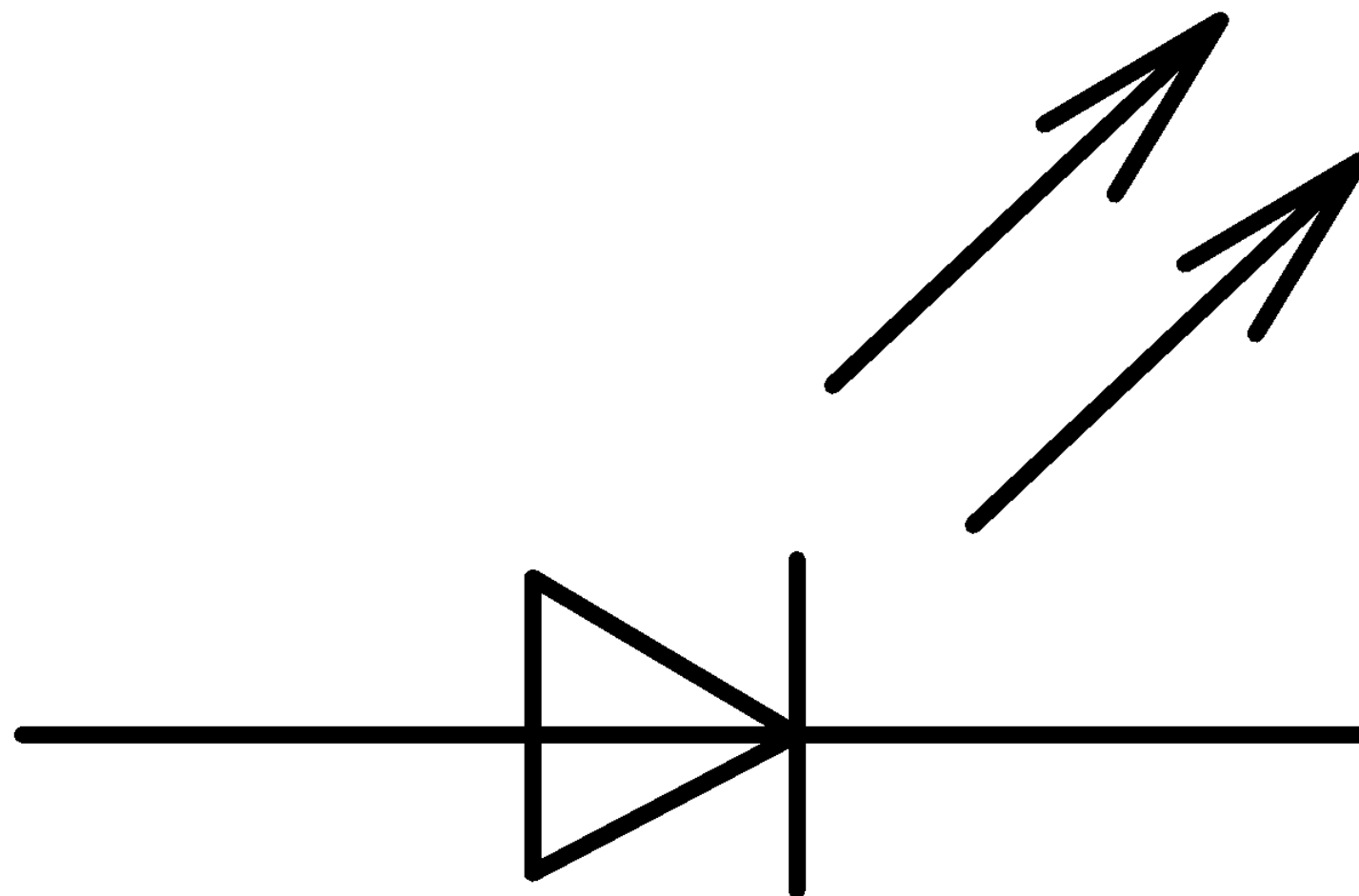
$$U_{\text{ШОТ}_{\text{пор}}} \approx 0,4 \text{ V}$$

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)

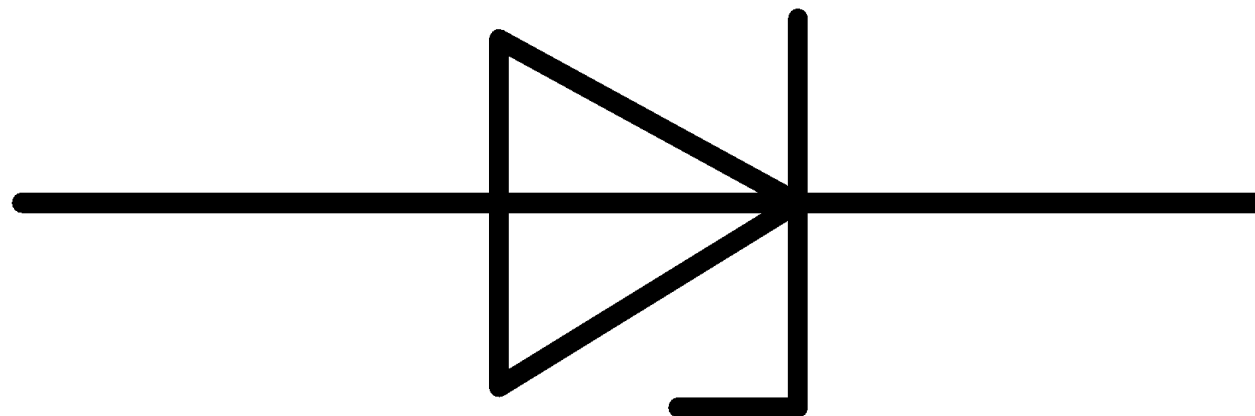
$$U_{LED_{пор}} \approx 1,7 \div 1,8 V$$



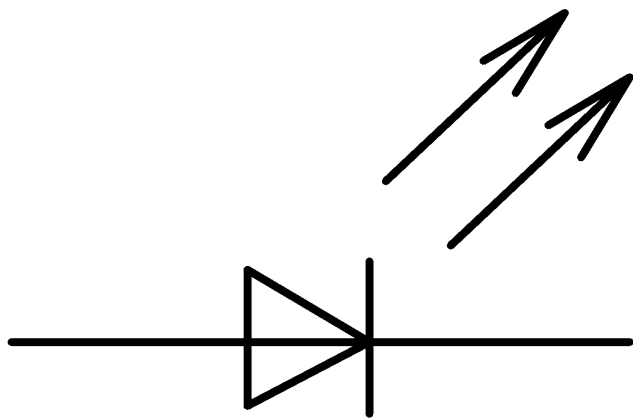
Zener (Стабилитрон)

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

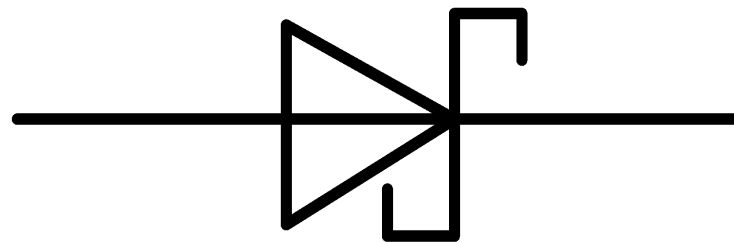
работает на обратной ветви ВАХ,
имеет расширенную зону
электрического пробоя



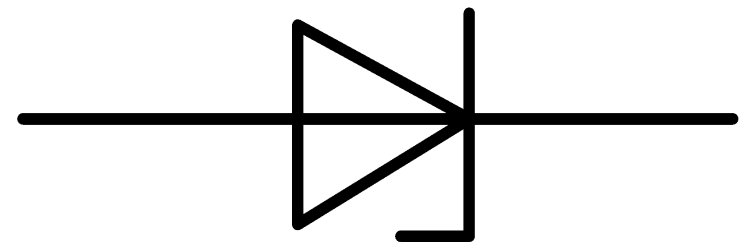
ОБОЗНАЧЕНИЯ НА СХЕМЕ:



LED



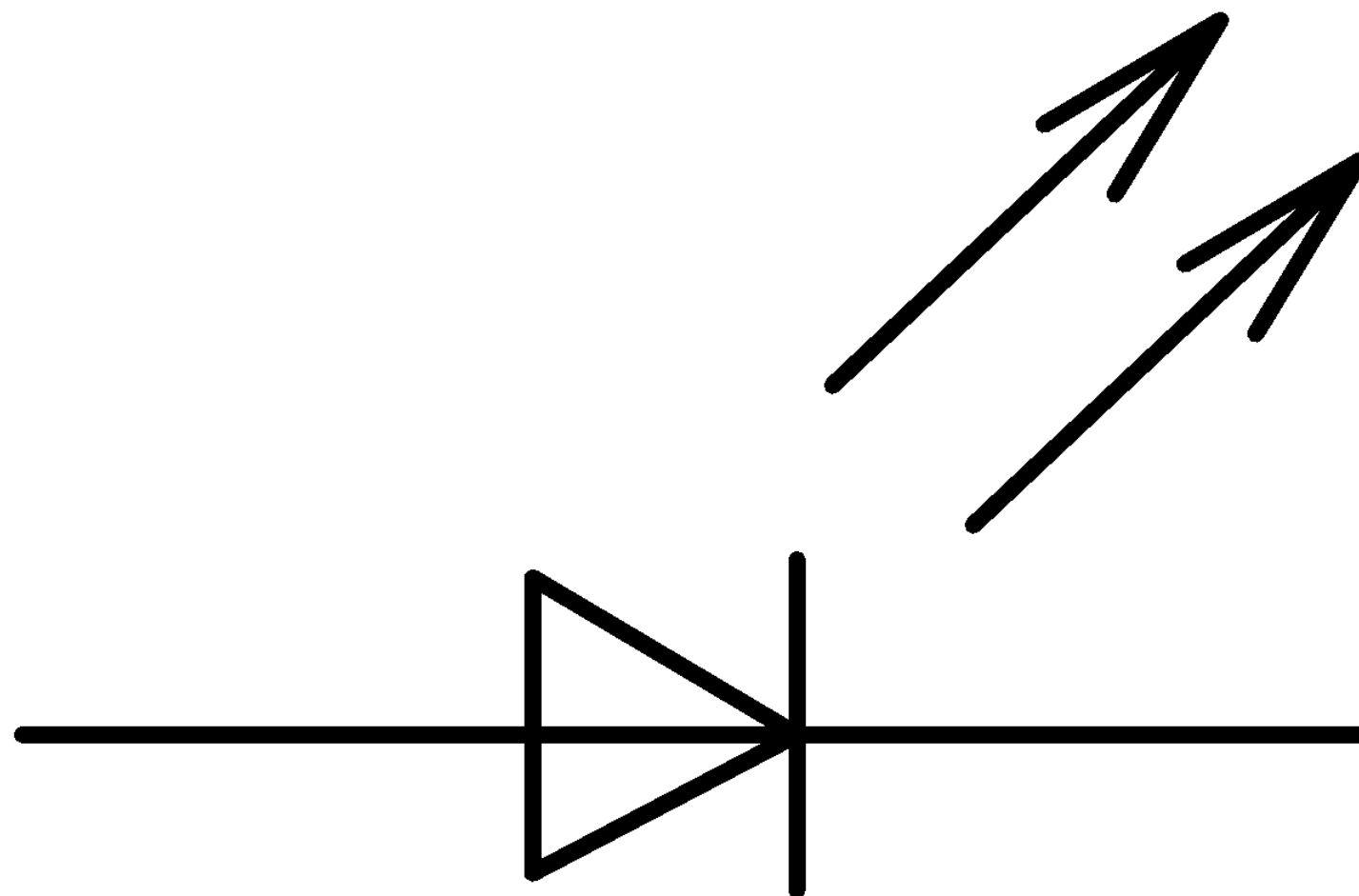
Шоттки



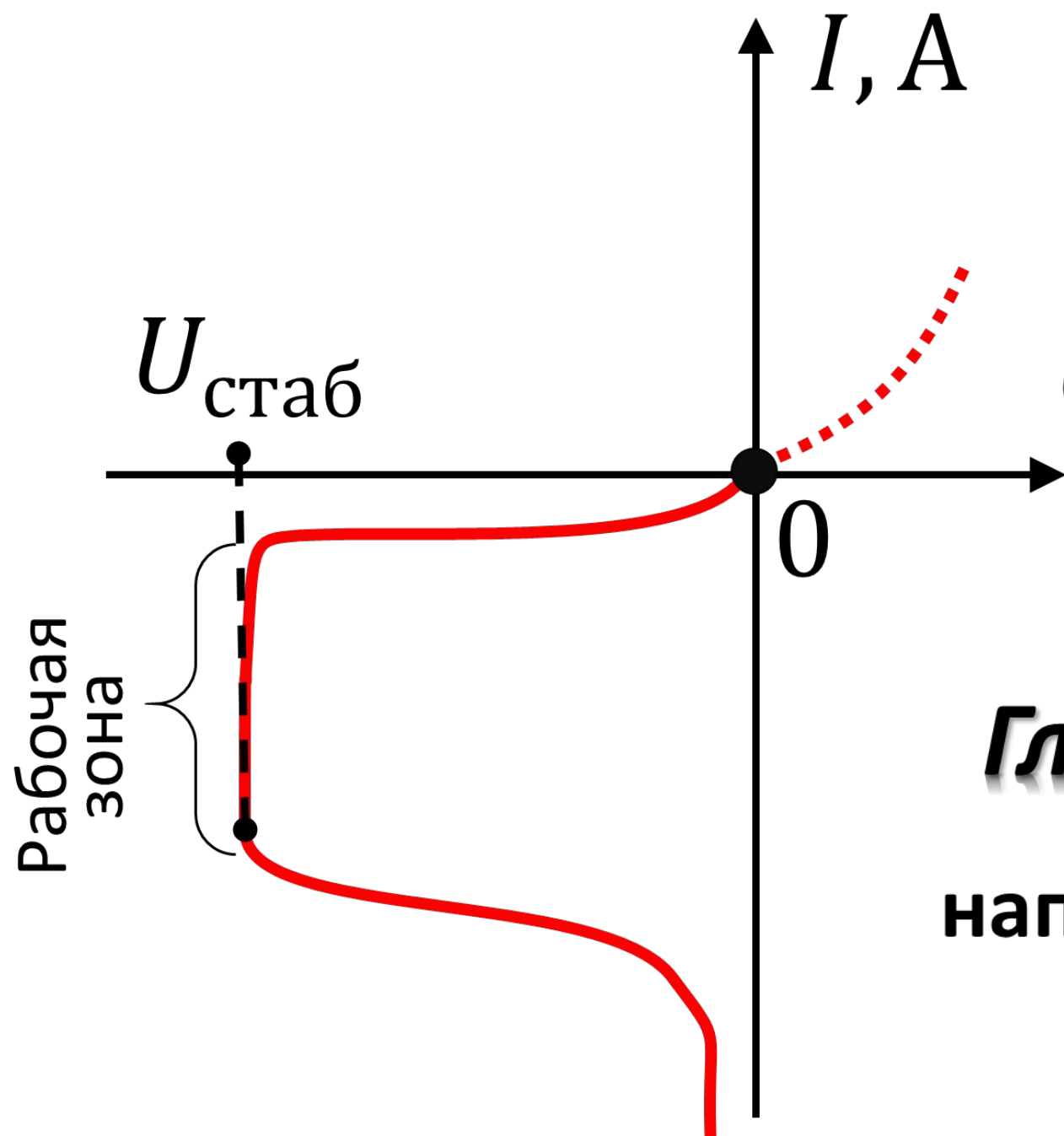
**Zener
(стабилитрон)**

LED (Светодиод)

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



Стабилитрон. Диод Зейнера



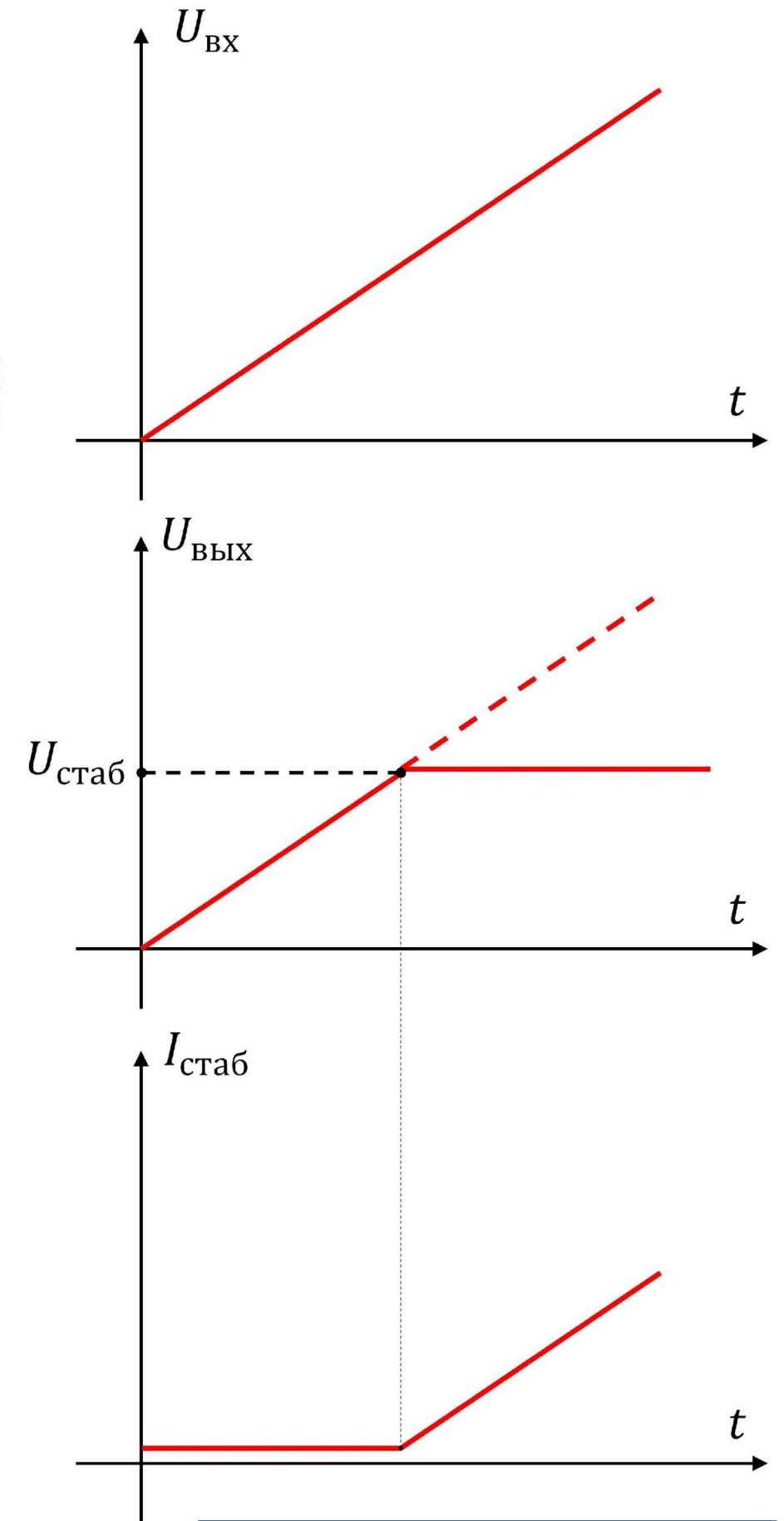
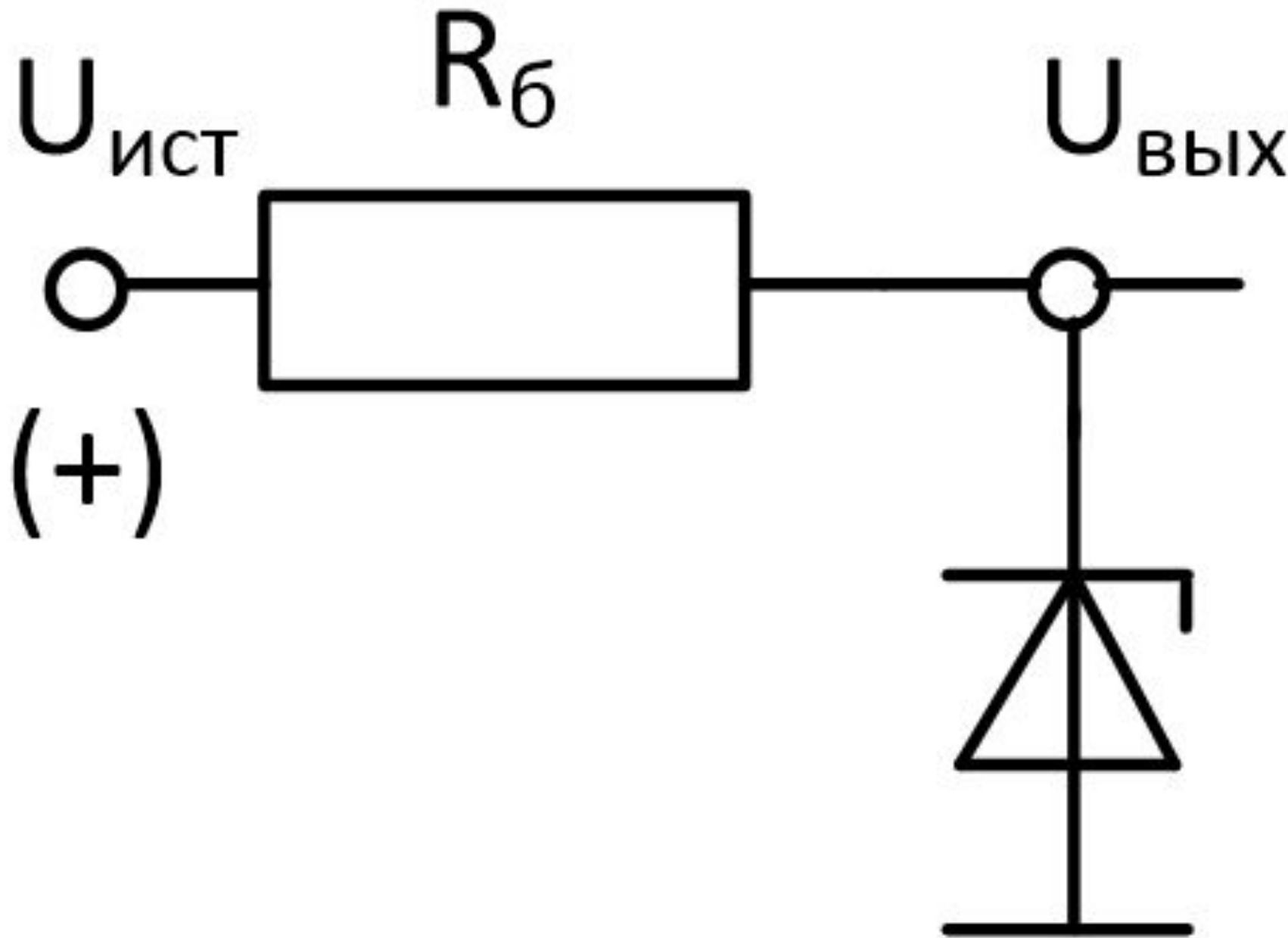
Стабилитрон работает на обратной ветви ВАХ, имеет расширенную зону электрического пробоя

Главная характеристика:
напряжение стабилизации $U_{\text{стаб}}$

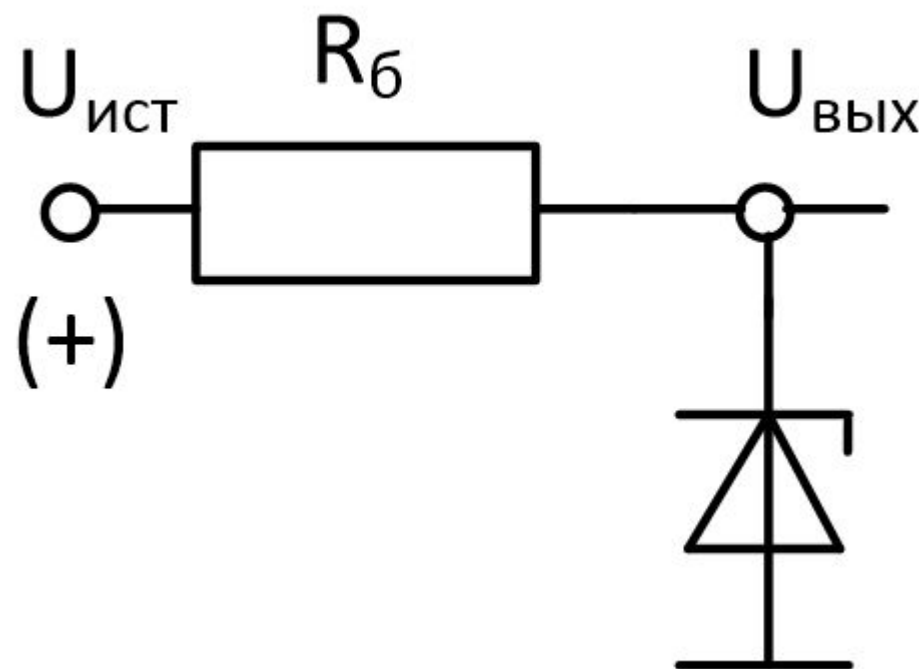
Стабилитрон «старается», чтобы на нём падало постоянное напряжение $U_{\text{стаб}}$

Простейший
СТАБИЛИЗАТОР на
базе стабилизатора

Простейший **СТАБИЛИЗАТОР** на базе стабилитрона



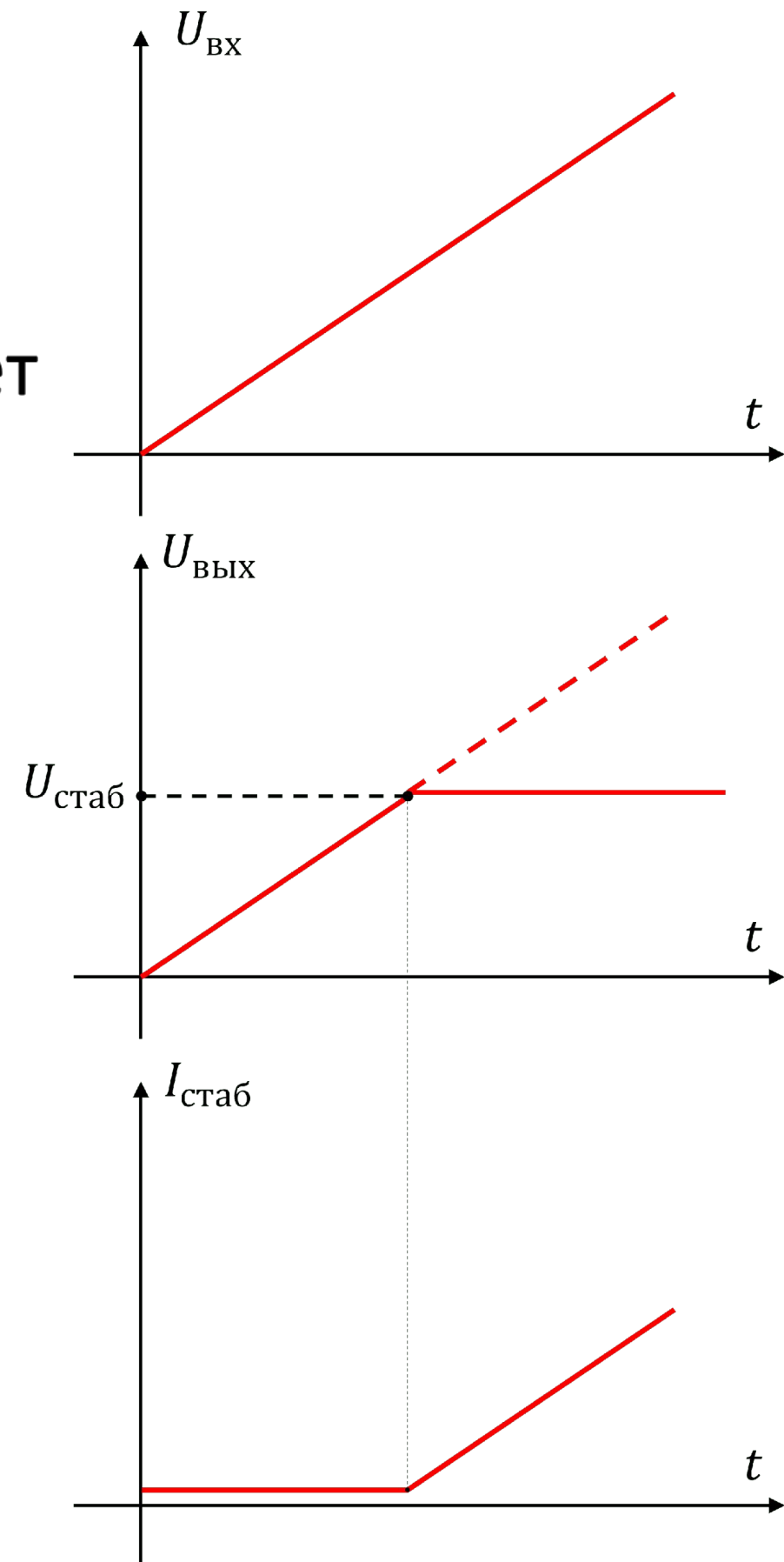
Простейший **СТАБИЛИЗАТОР** на базе стабилитрона



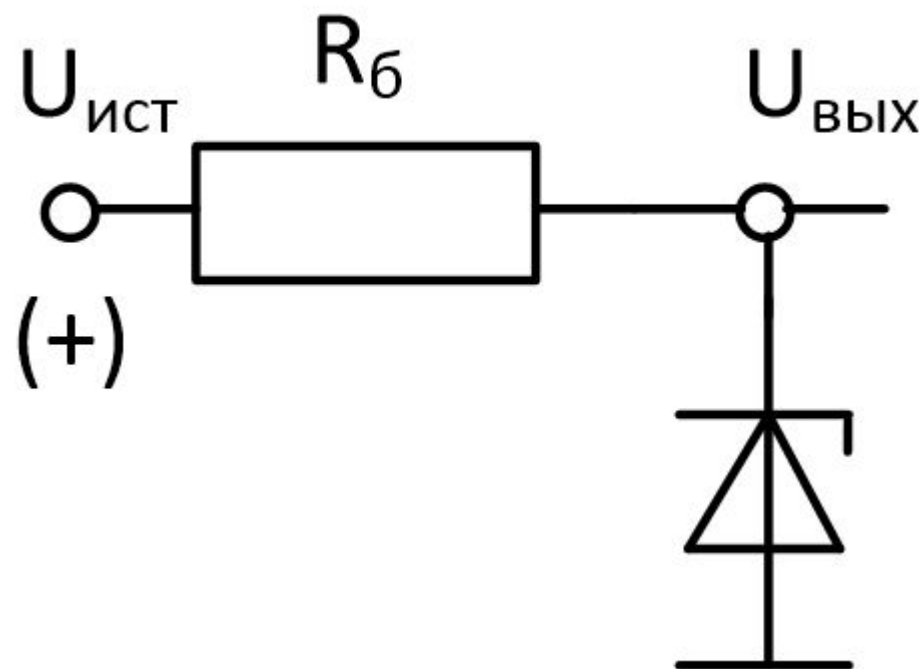
$R_б$ – балластное сопротивление
Стабилитрон имеет «**очень большое сопротивление**»

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

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



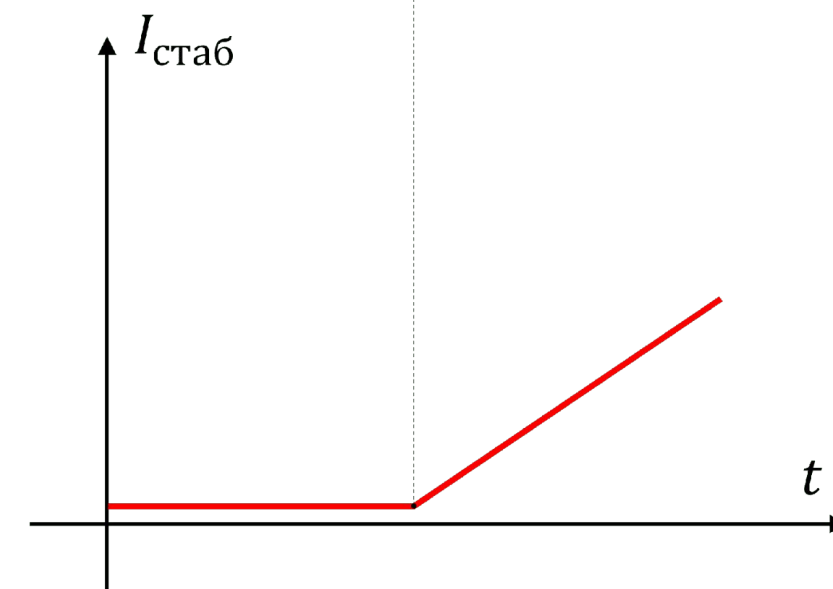
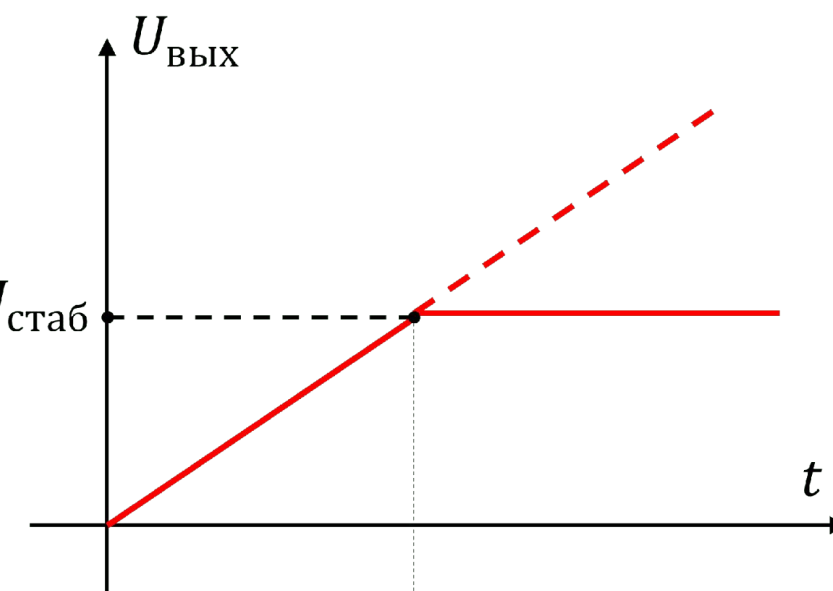
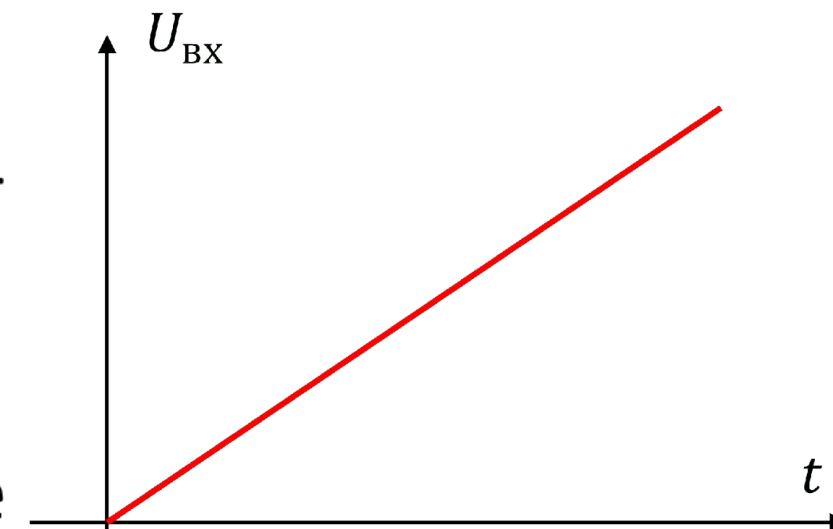
Простейший **СТАБИЛИЗАТОР** на базе стабилитрона



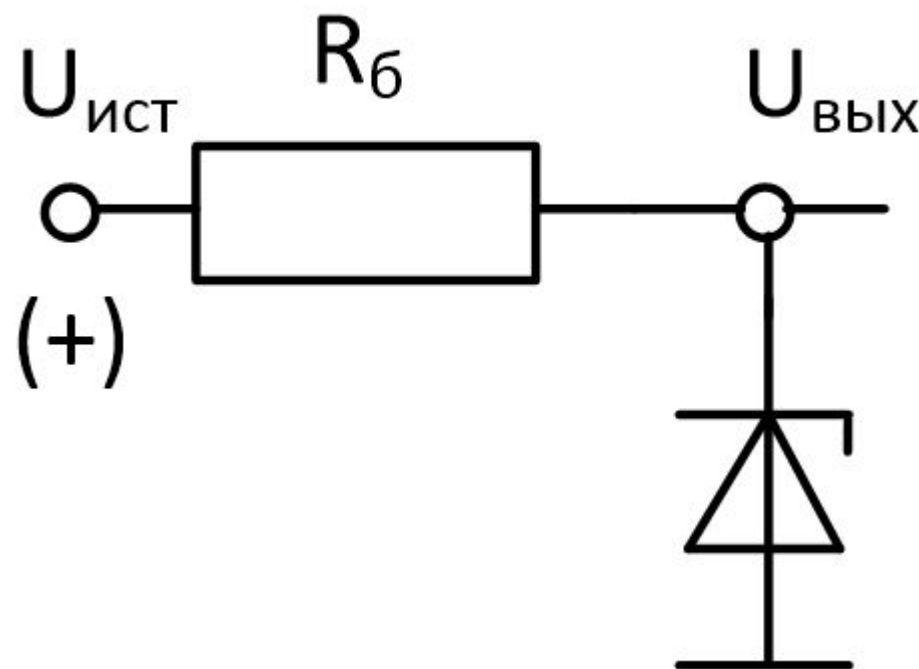
СТАБИЛИТРОН – прибор, который «старается» поддерживать на себе падение напряжение, равное $U_{\text{стаб}}$

Из свойств стабилитрона вытекает 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 миллиампер (для мощных)



Простейший **СТАБИЛИЗАТОР** на базе стабилитрона

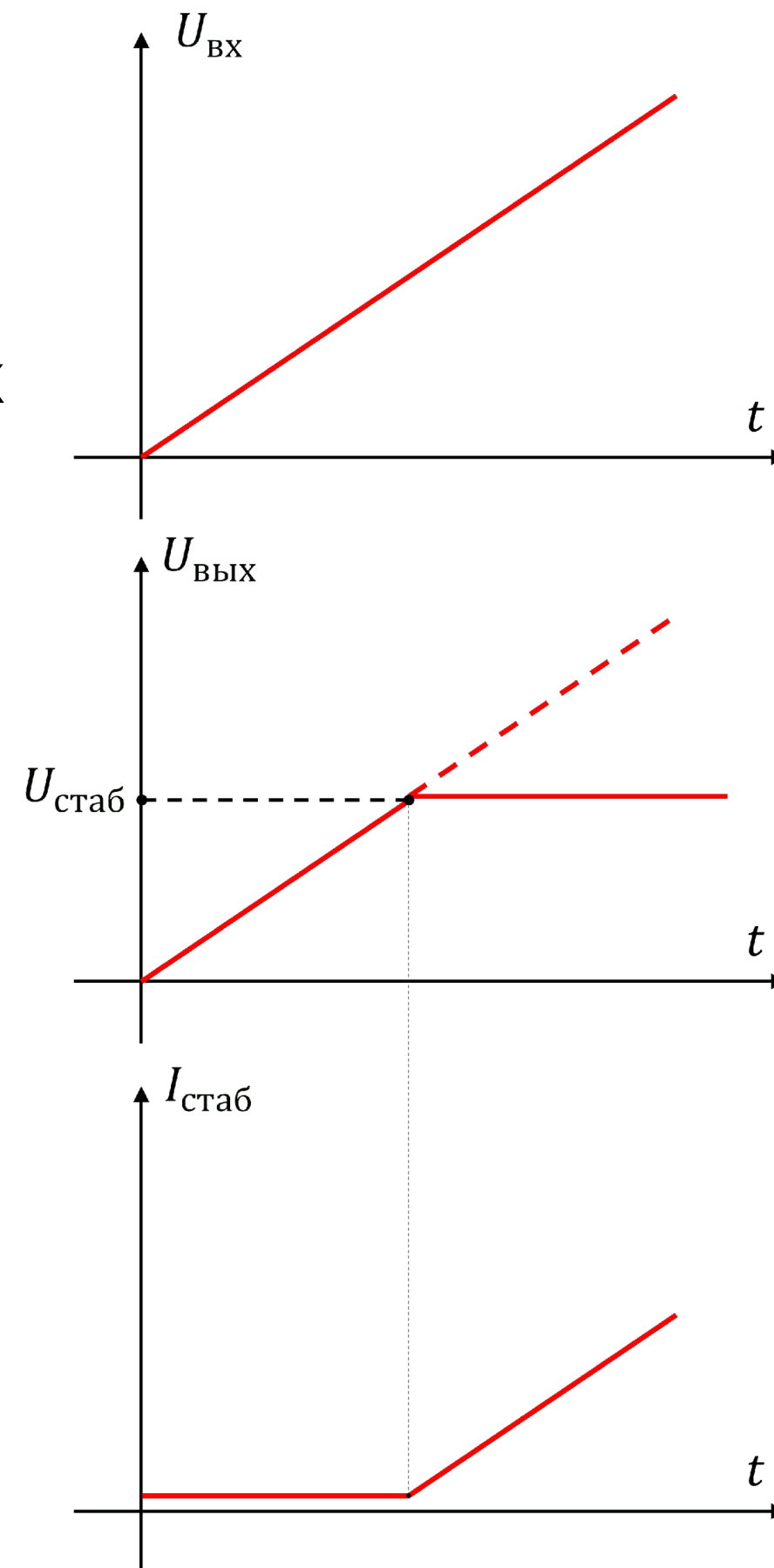


Одна из основных характеристик

МАКСИМАЛЬНАЯ РАССЕИВАЕМАЯ МОЩНОСТЬ, которую можно

оценить как:

$$P_{\text{max расс}} = I_{\text{max расс}} \cdot U_{\text{стаб}}$$



Простейший СТАБИЛИЗАТОР на базе

стабилитрона

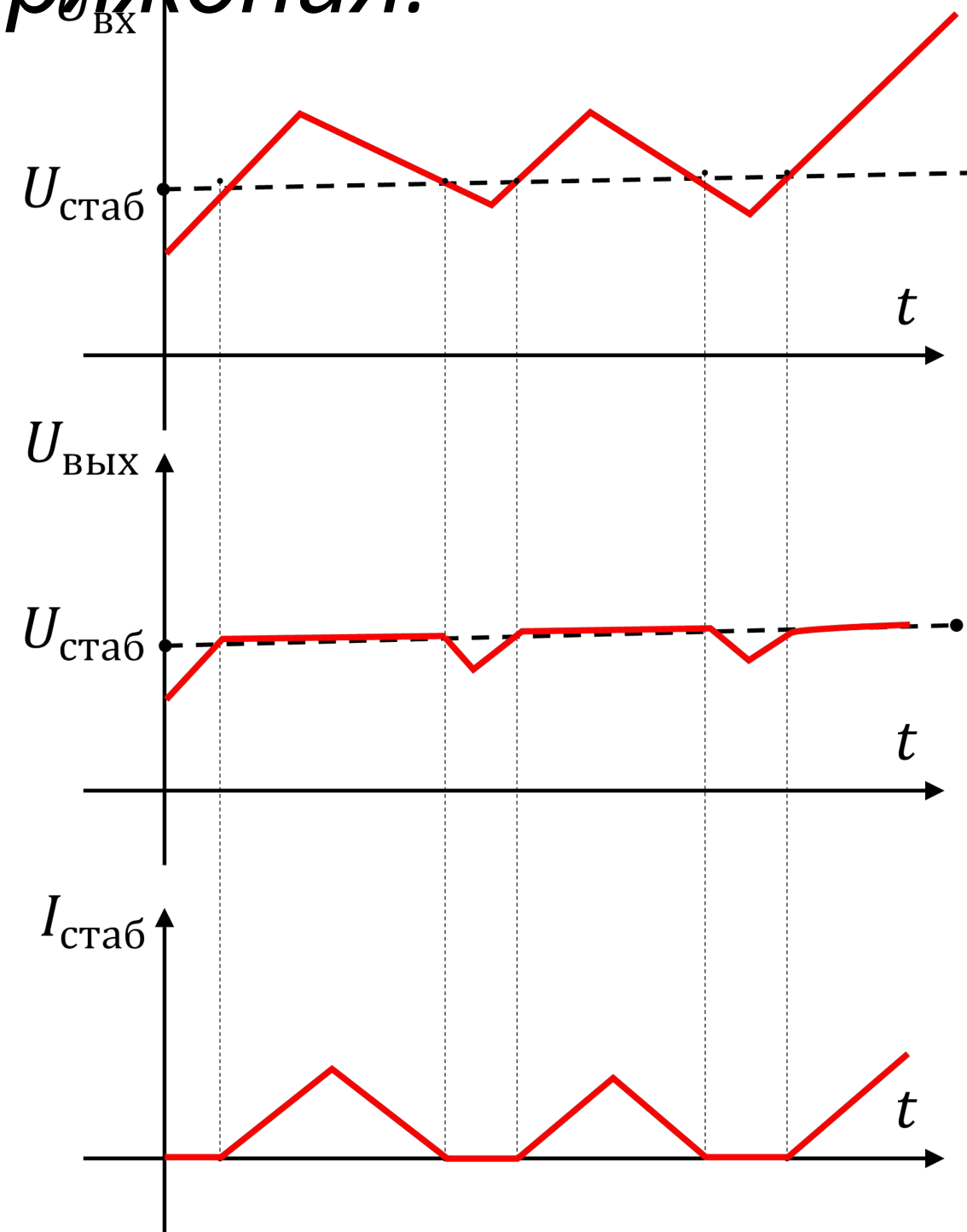
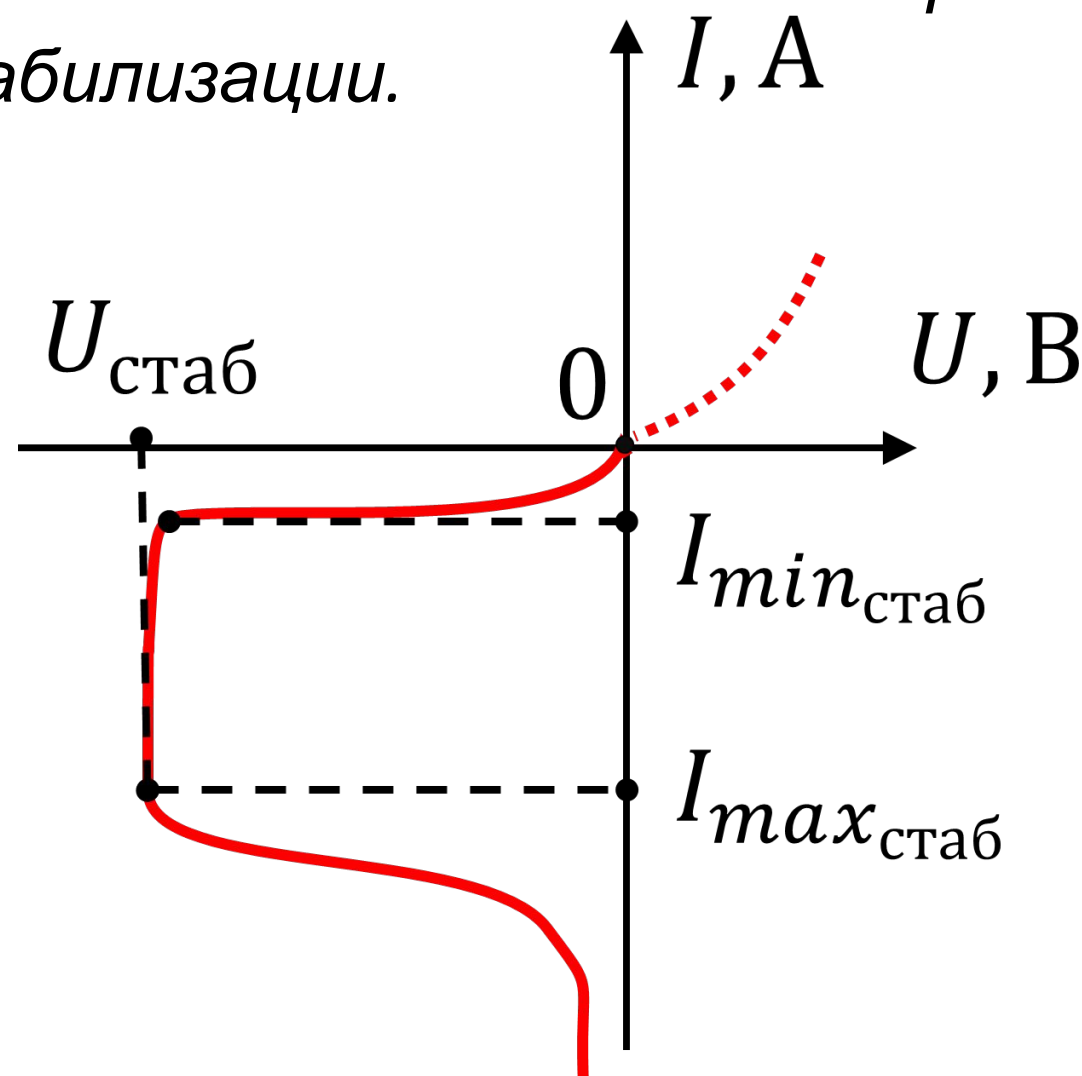
Схем

Возьмём плохой источник

а

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

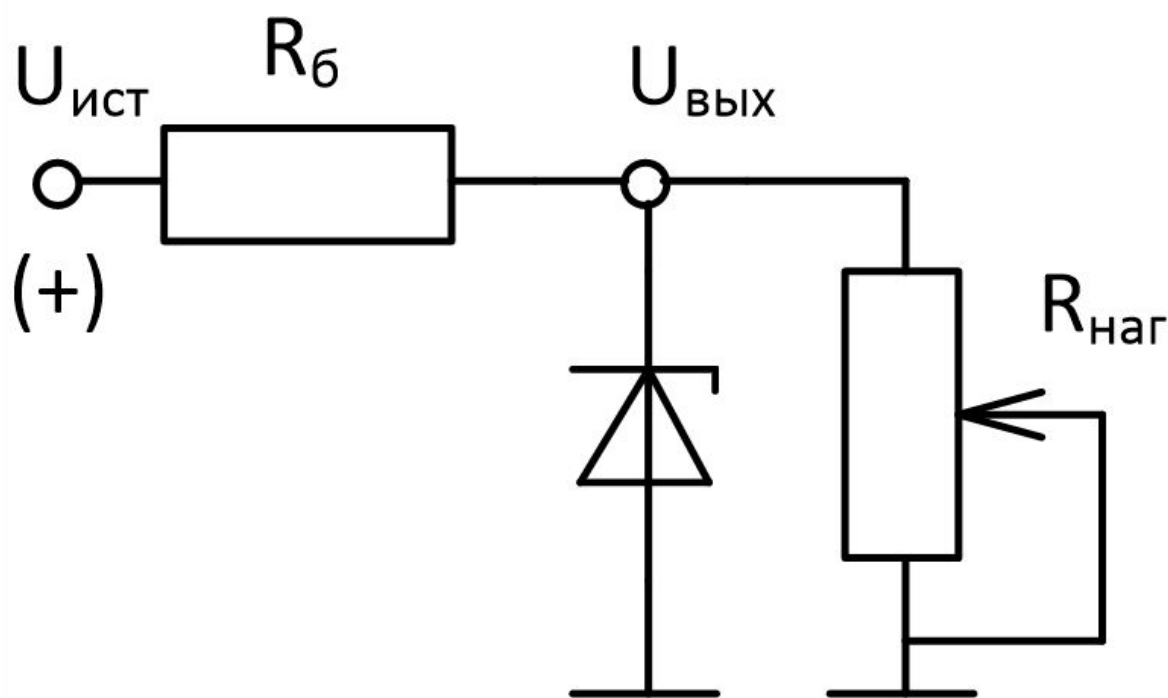
напряжения:



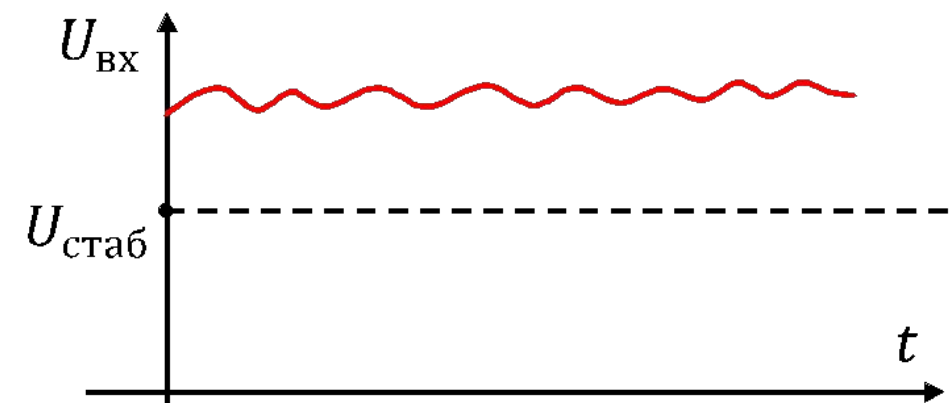
Простейший **СТАБИЛИЗАТОР** на базе стабилитрона

Пример 2:

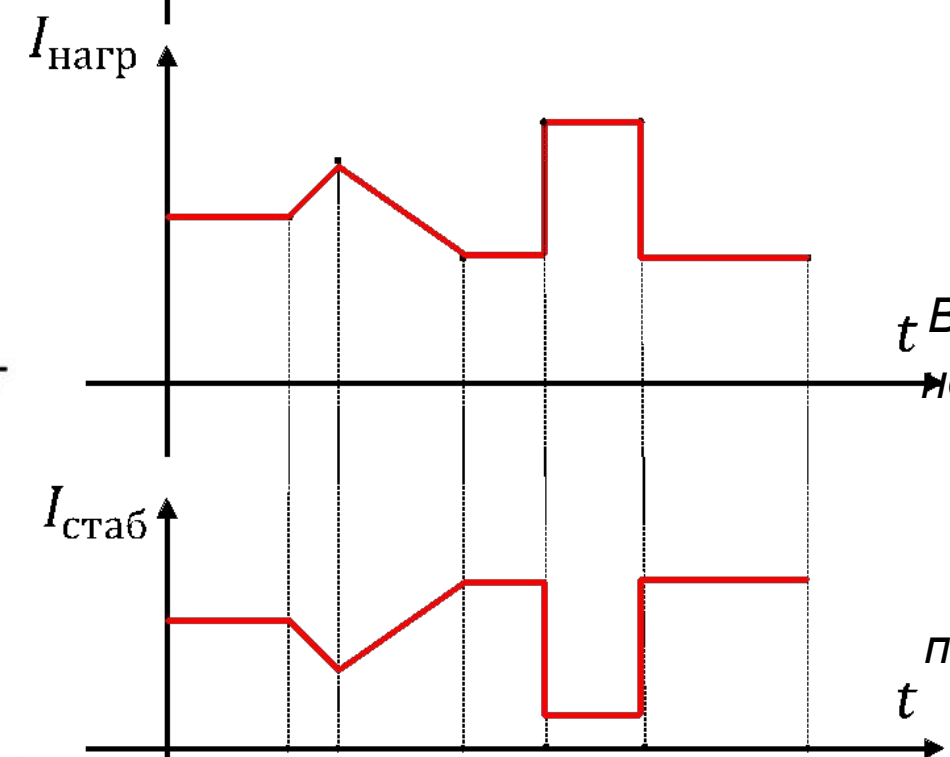
небольшие пульсации входного напряжения и заметные пульсации тока нагрузки



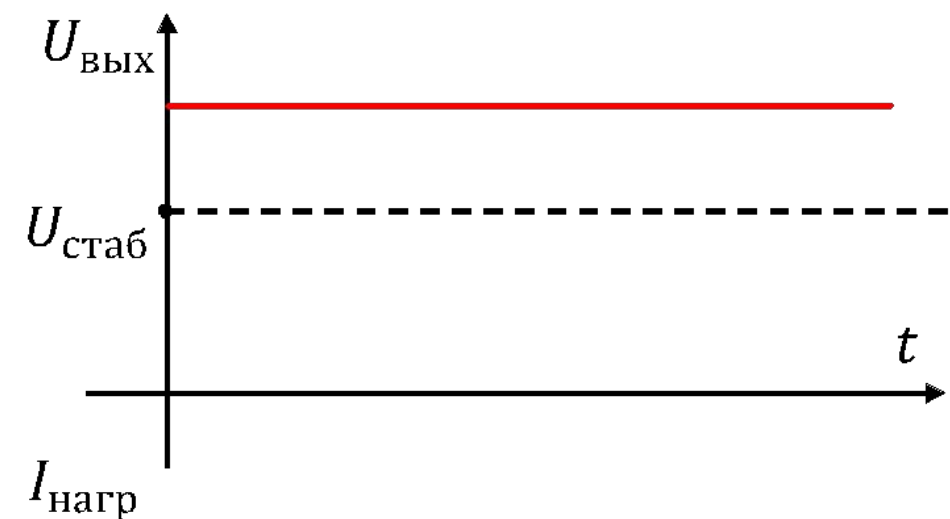
Напряжение значительно выше напряжения стабилизации, возможно с некоторыми пульсациями



Если тока будет недостаточно, то напряжение «просядет»



В начале ток напряжения небольшой, стабилитрон пропускает ток и «делится» с нагрузкой, компенсируя потенциальные просадки



В данном случае всё хорошо скомпенсировалось

СТАБИЛИЗАТОР

Главная характеристика:

Напряжение стабилизации $U_{\text{стаб}}$

- *Максимальный и минимальный токи стабилизации:*

$$I_{\text{max стаб}} \quad I_{\text{min стаб}}$$

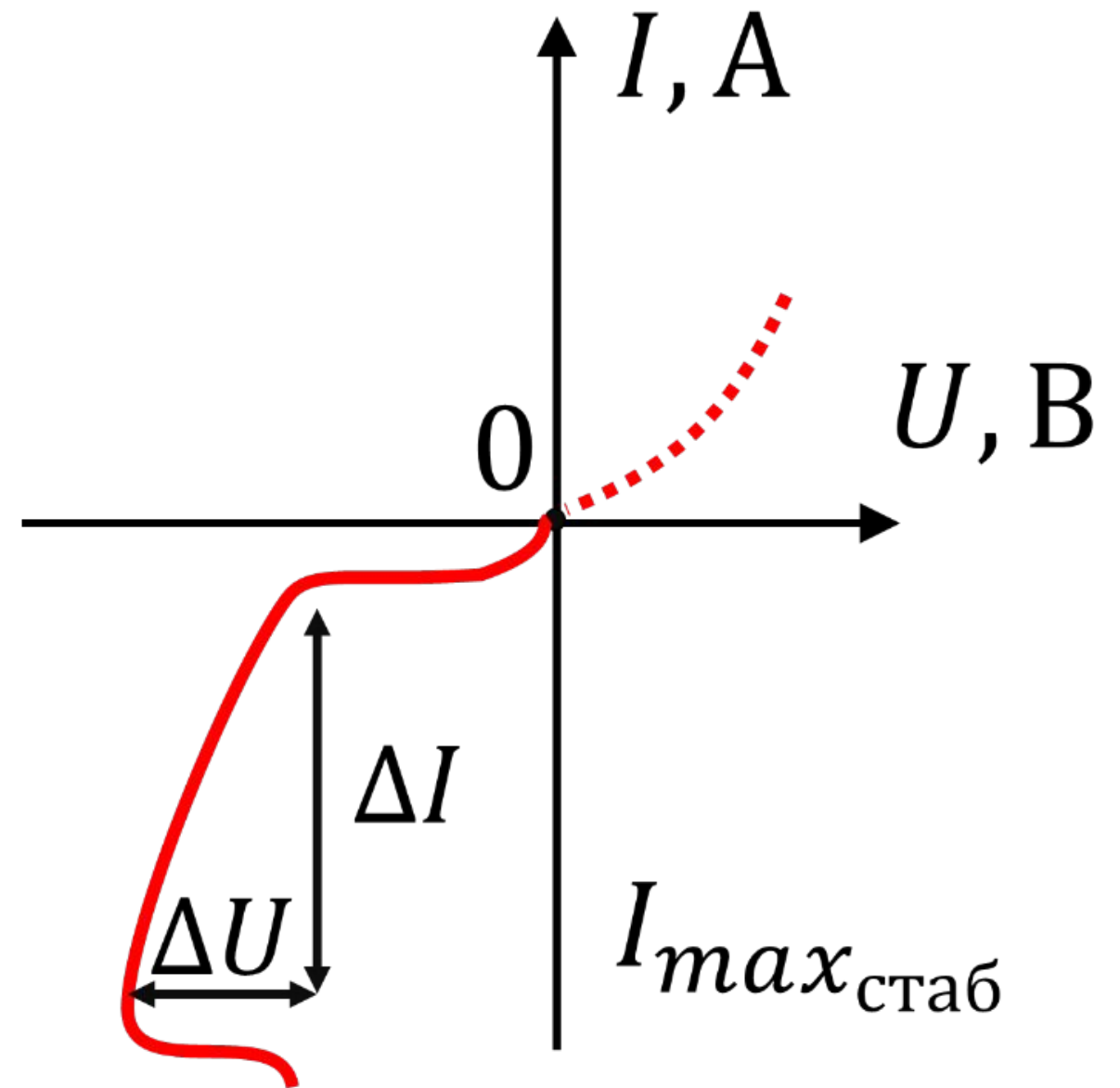
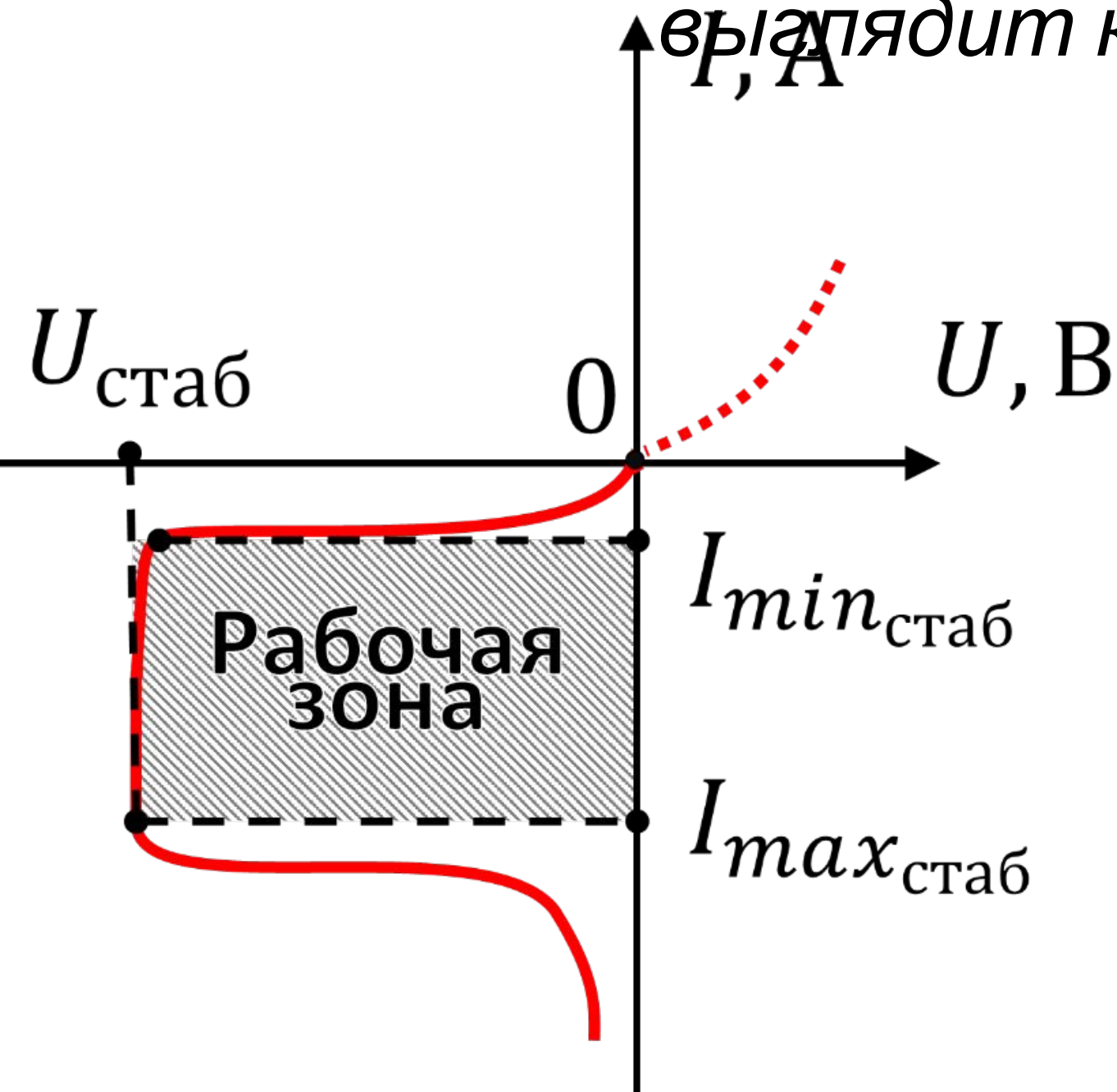
- *Качество стабилизации, которое характеризуется*

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

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

СТАБИЛИЗАТОР

У идеального стабилизатора рабочая зона выглядит как **прямая линия**



ИДЕАЛЬНЫЙ: $R_{\text{диф идеал}} = 0$

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

У реального регулятора рабочая зона не вертикальна и может даже быть кривой. Чем она менее вертикальна, тем сильнее характеристики реального отличаются от идеального.

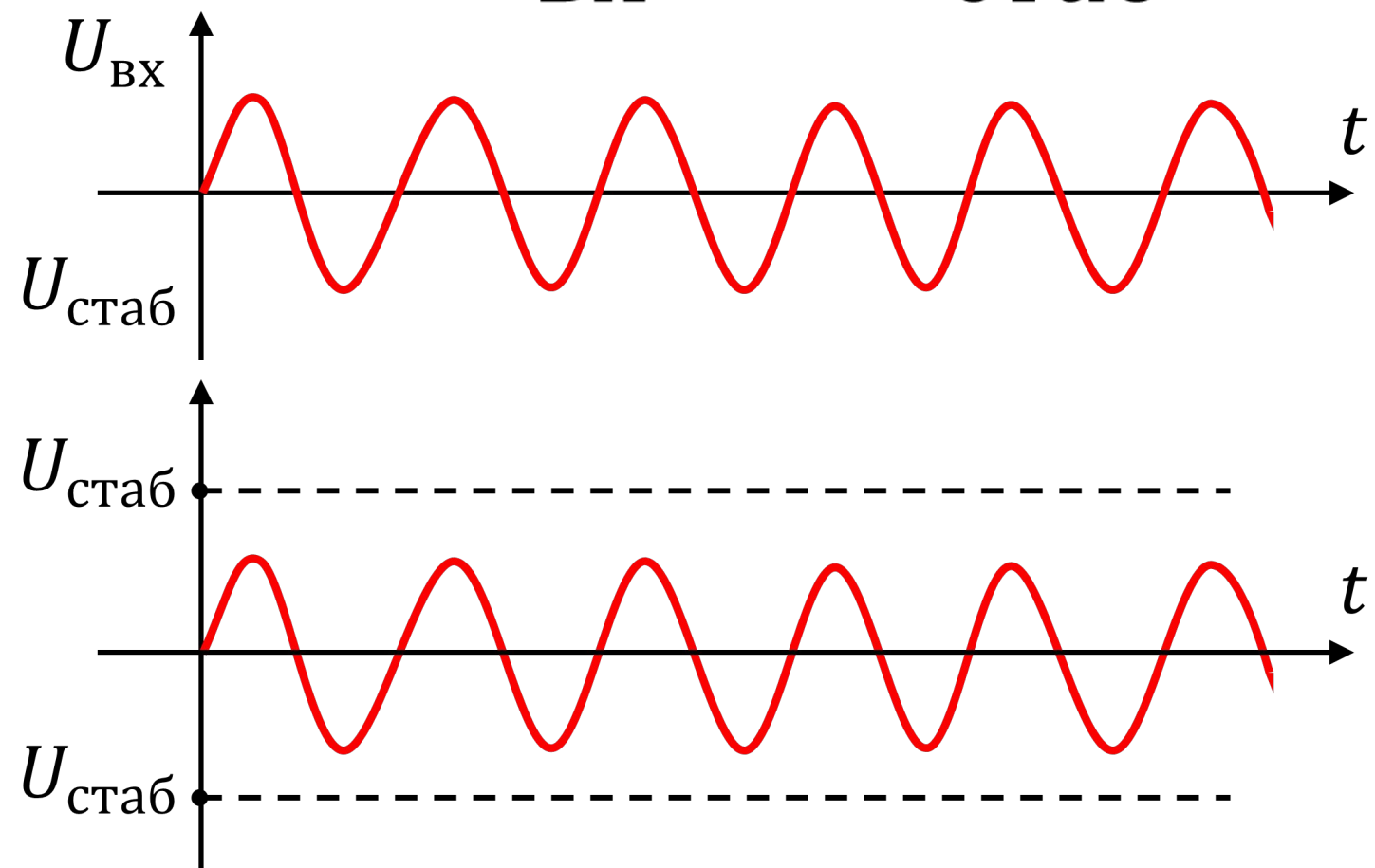
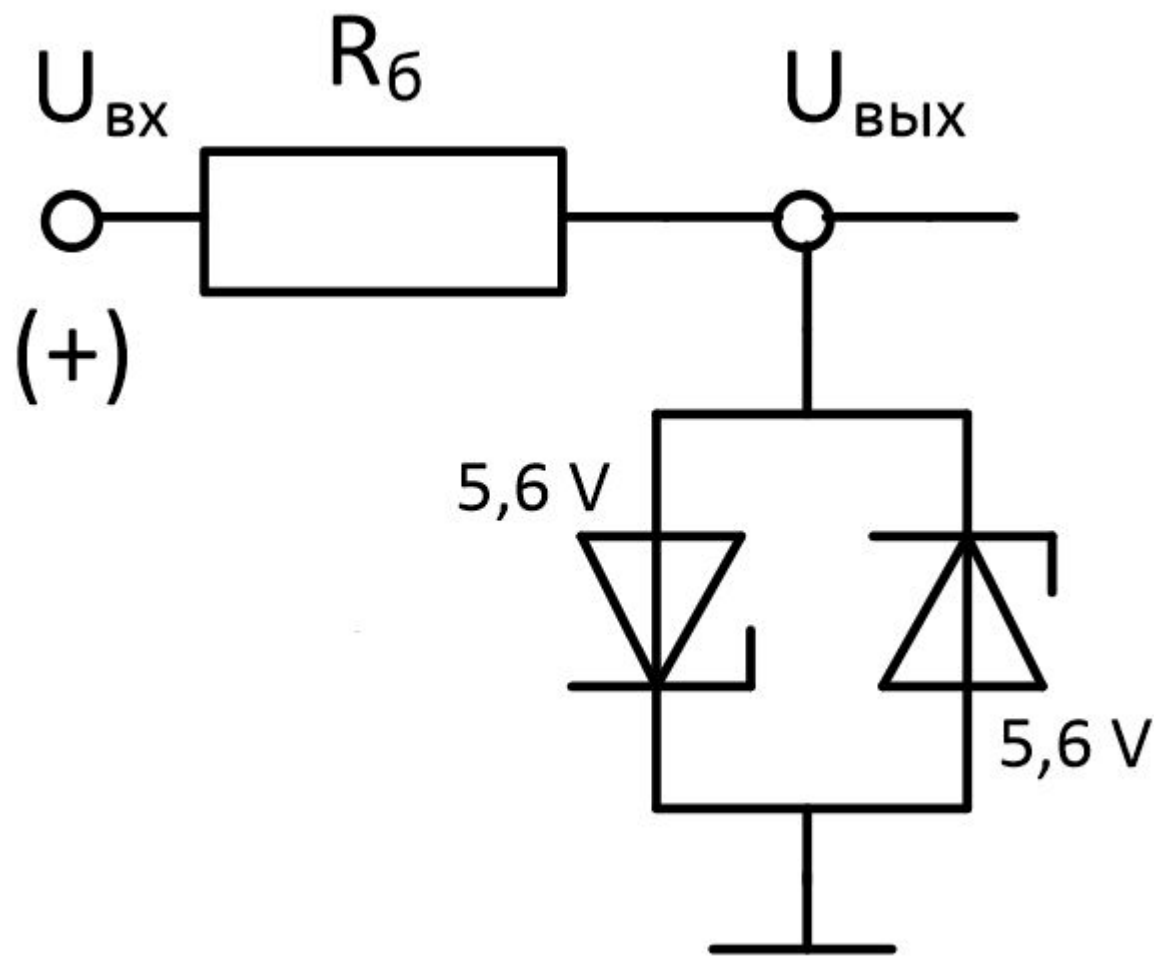
Схемы- ограничители напряжения

Схемы-ограничители напряжения

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

Наиболее типичное применение: в качестве организации сигнала в высокочувствительной измерительной аппаратуре.

$$U_{\text{ВХ}} < U_{\text{стаб}}$$

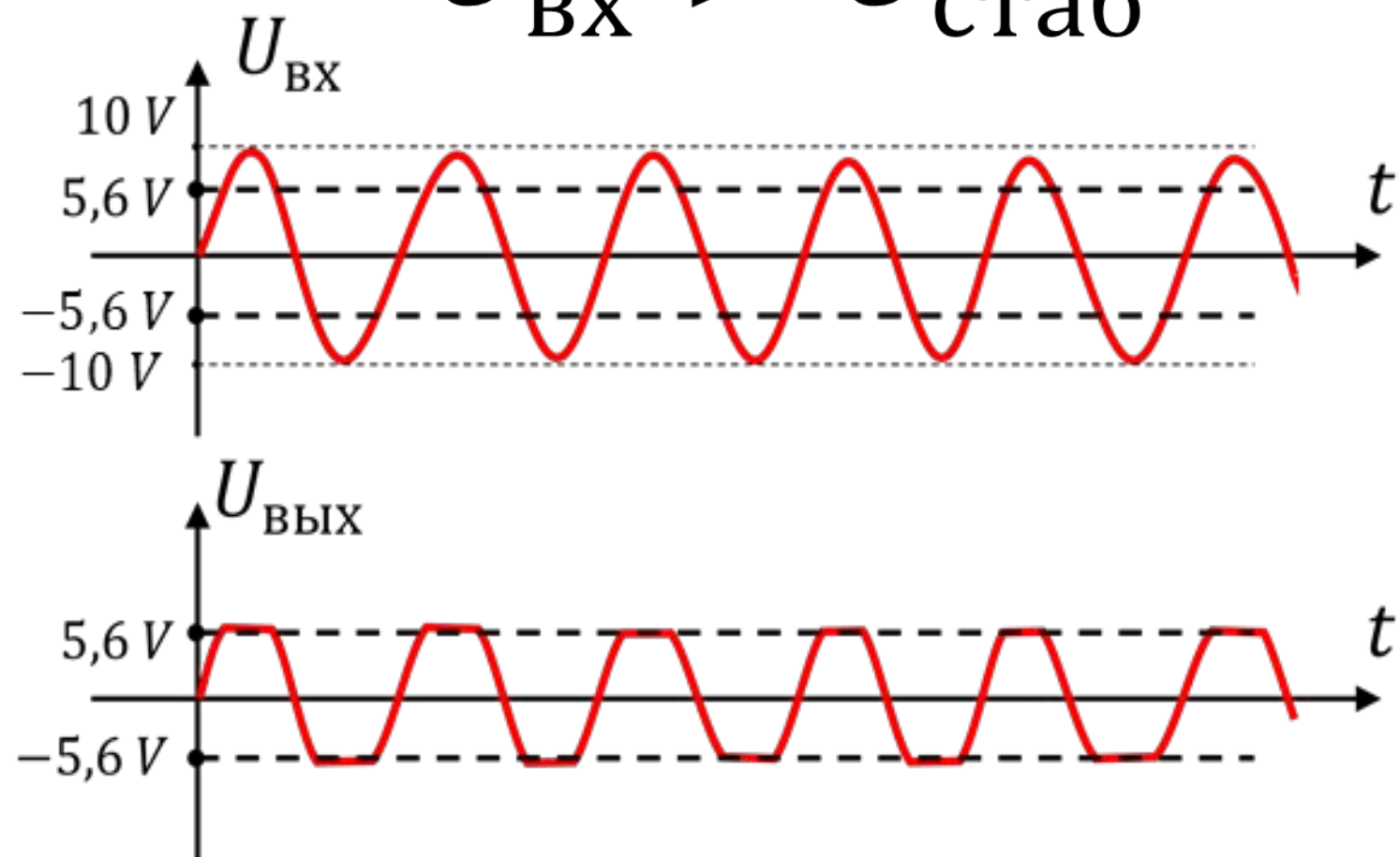
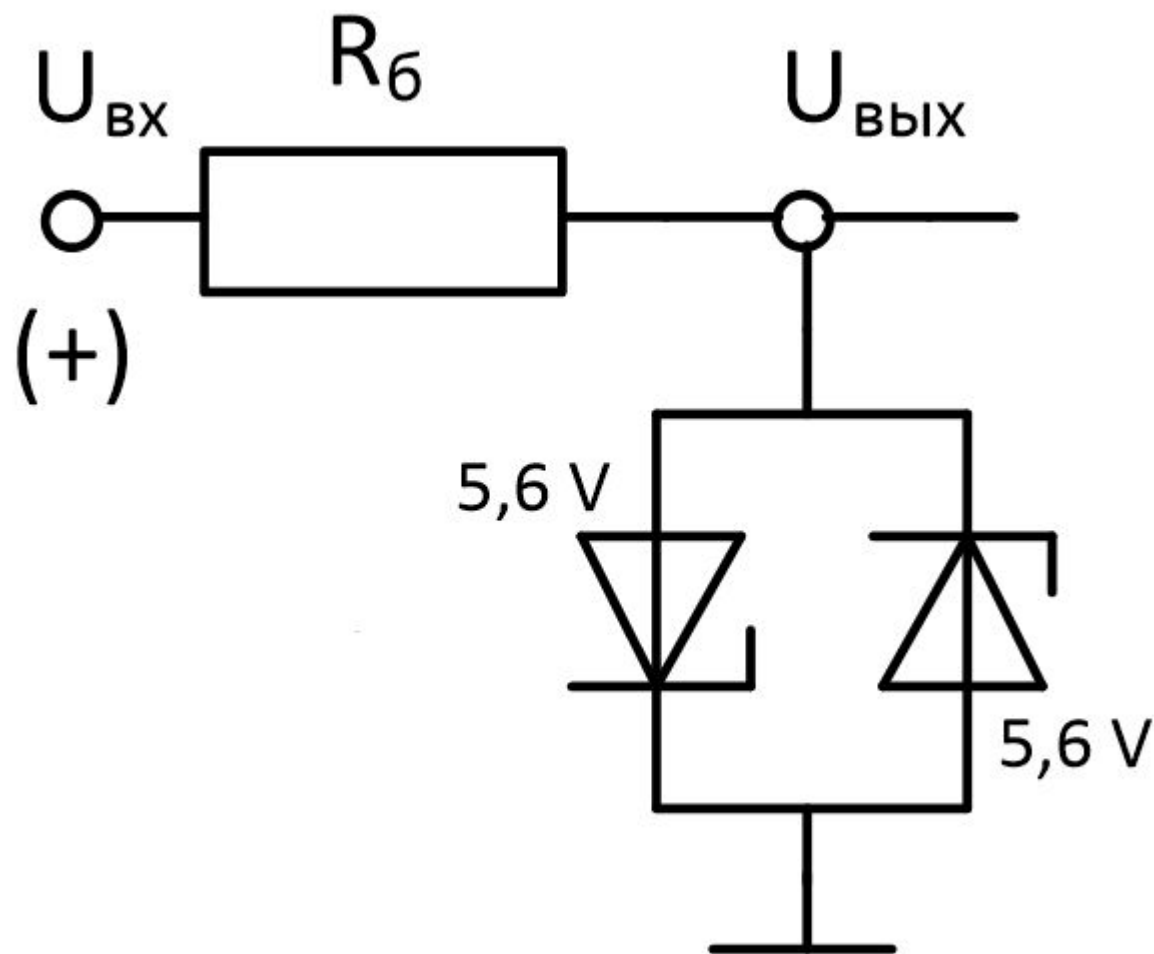


Схемы-ограничители напряжения

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

Наиболее типичное применение: в качестве организации сигнала в высокочувствительной измерительной аппаратуре.

$$U_{\text{ВХ}} > U_{\text{стаб}}$$

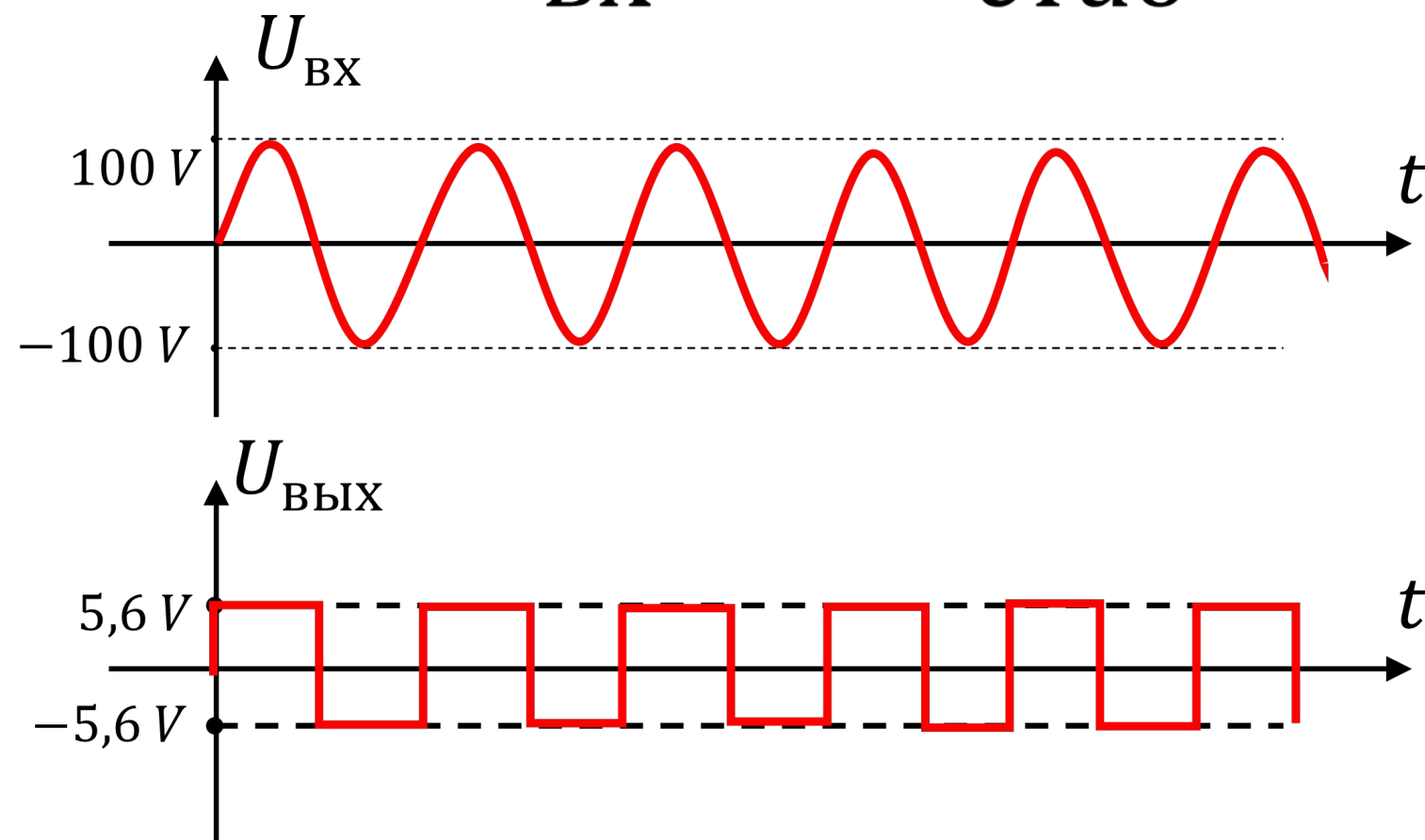
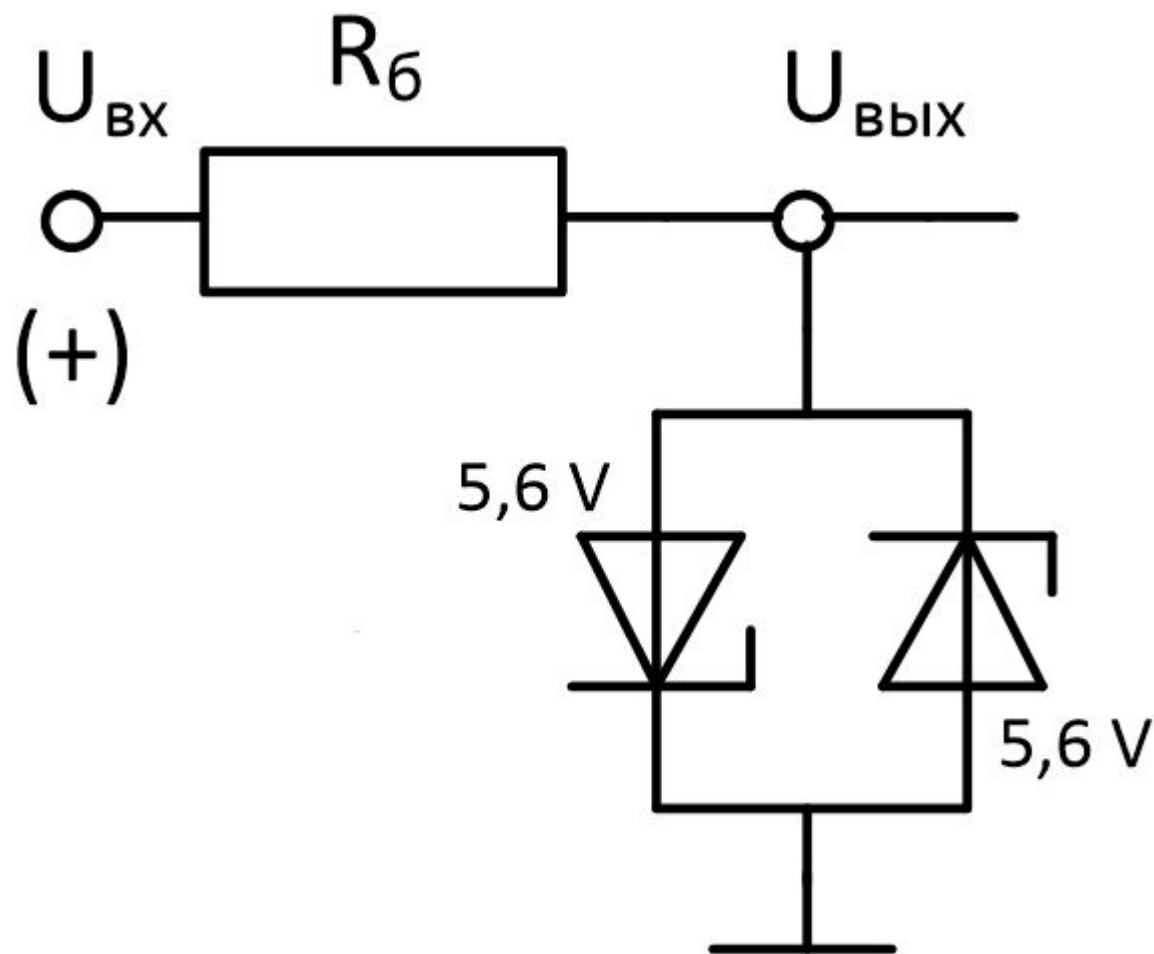


Схемы-ограничители напряжения

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

Наиболее типичное применение: в качестве организации сигнала в высокочувствительной измерительной аппаратуре.

$$U_{\text{ВХ}} \gg U_{\text{стаб}}$$

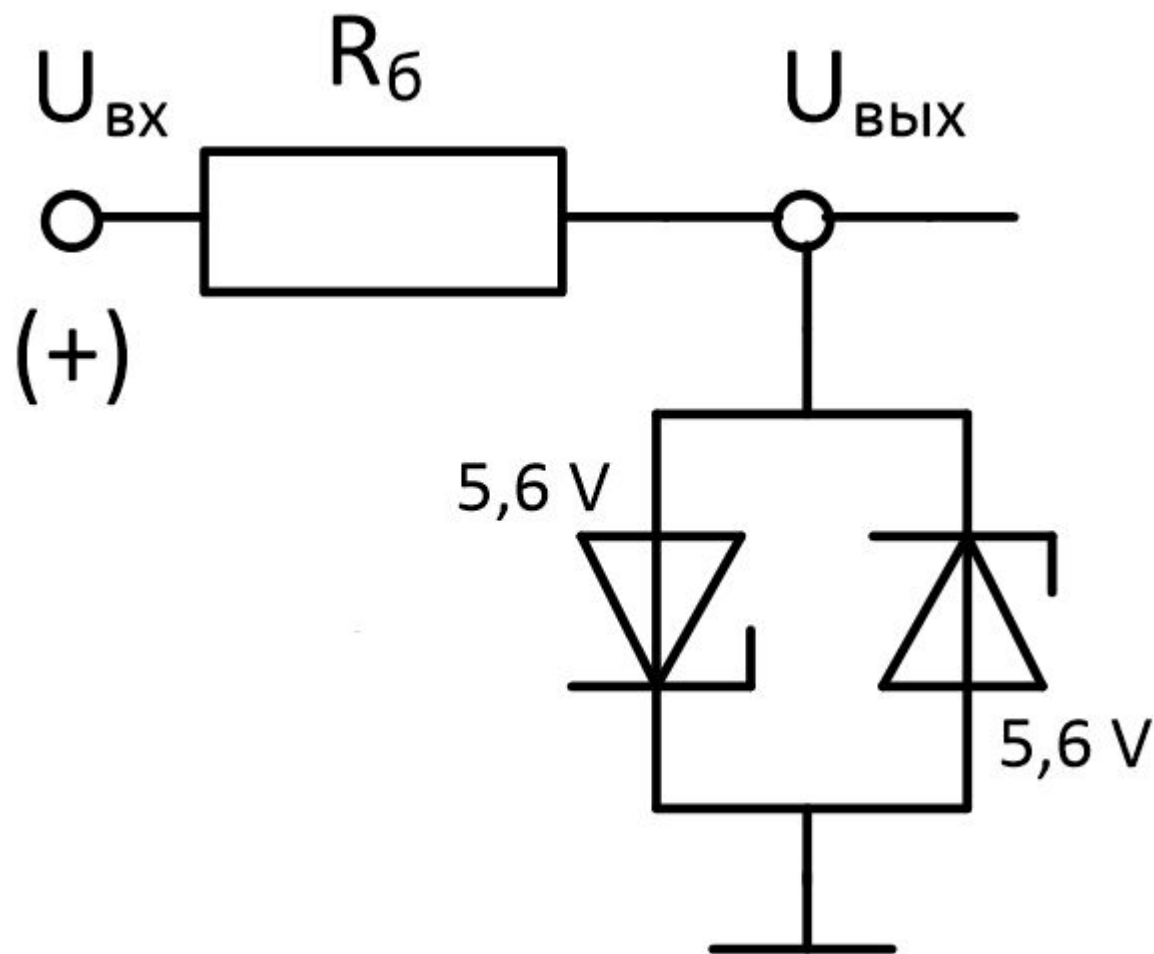


Схемы-ограничители напряжения

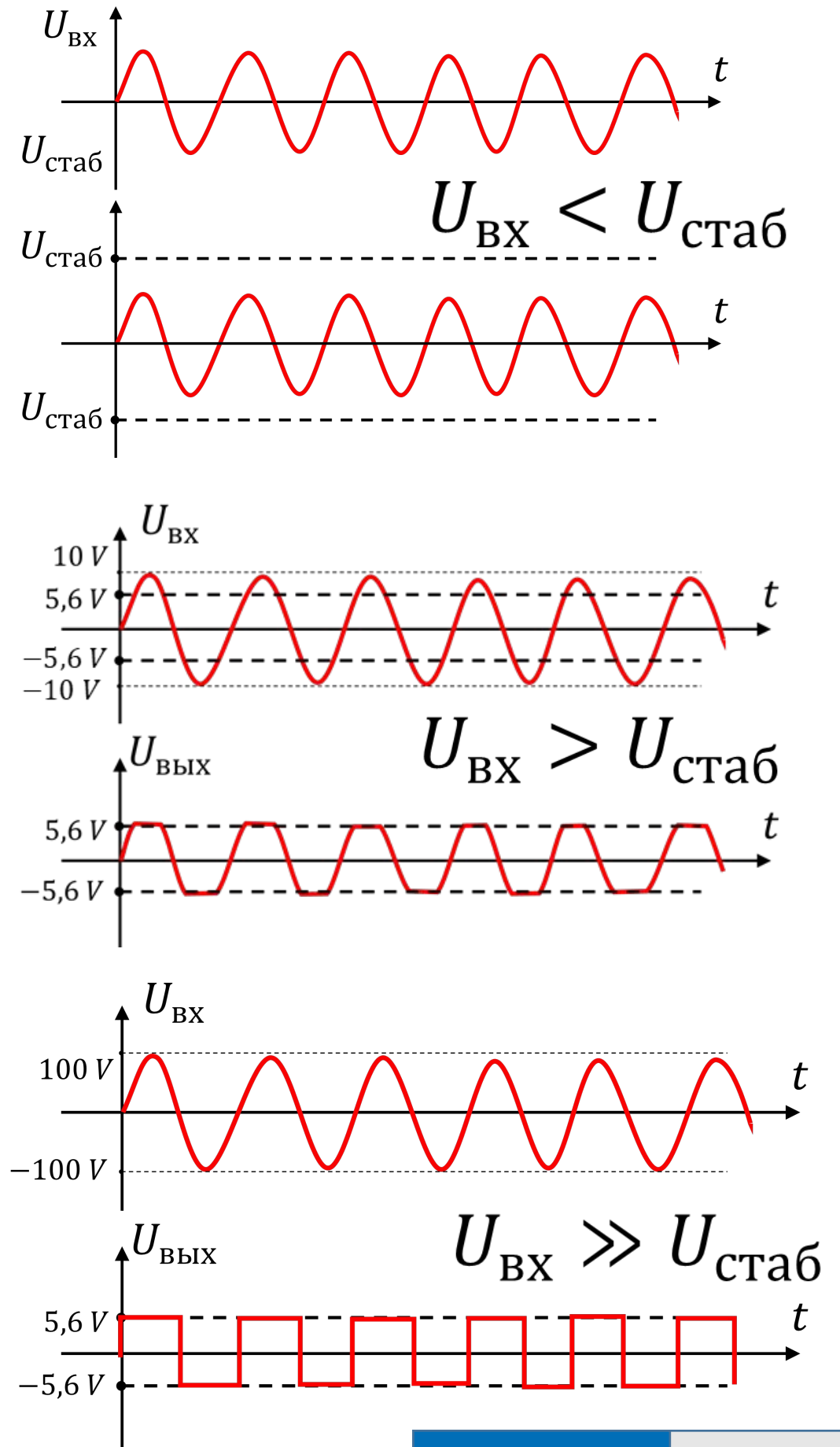
ПРИМЕР 3: реализация схем-ограничителей напряжения на базе стабилитрона:

базе стабилитрона:

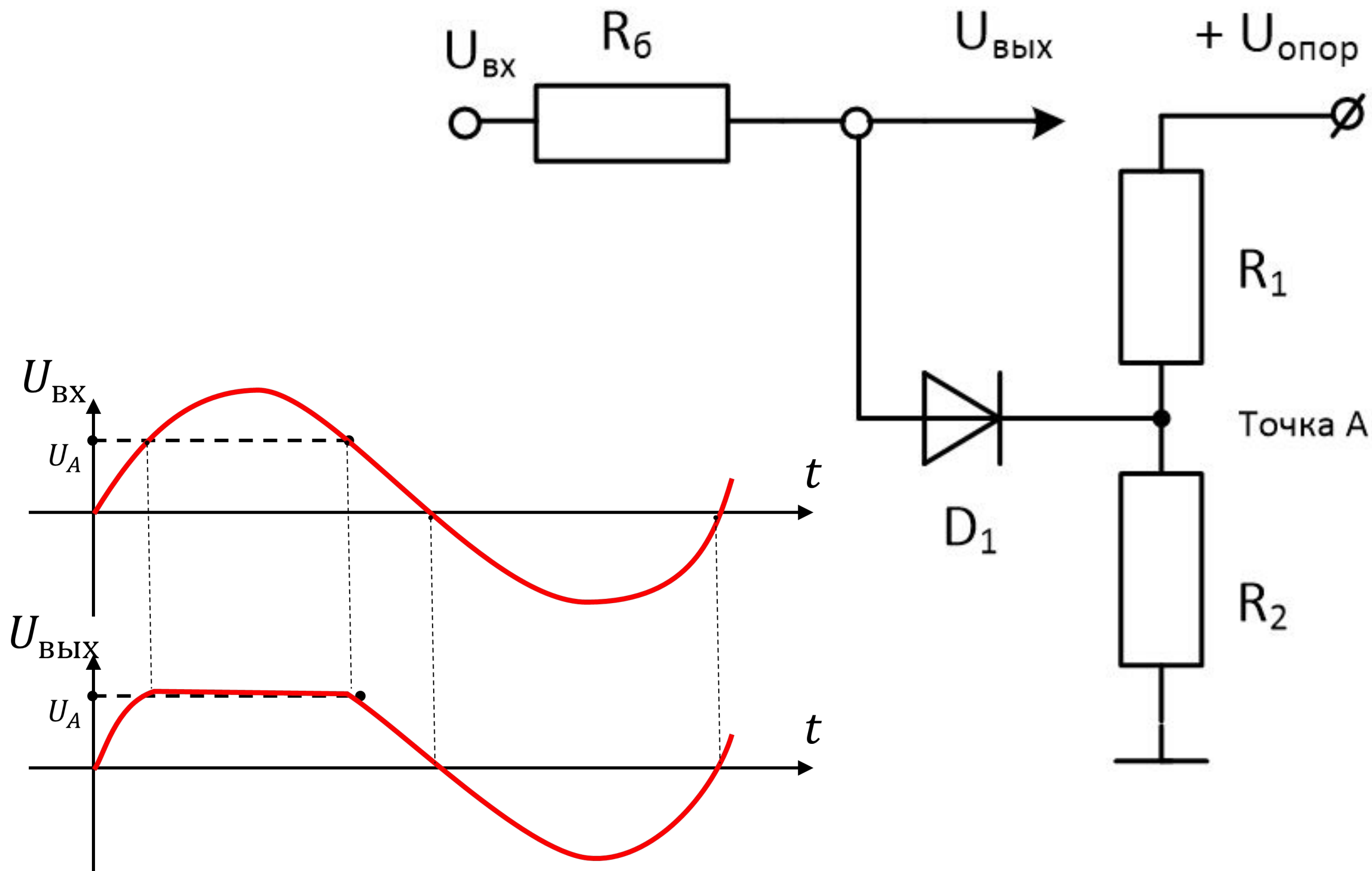
Наиболее типичное применение:
в качестве организации сигнала в высокочувствительной



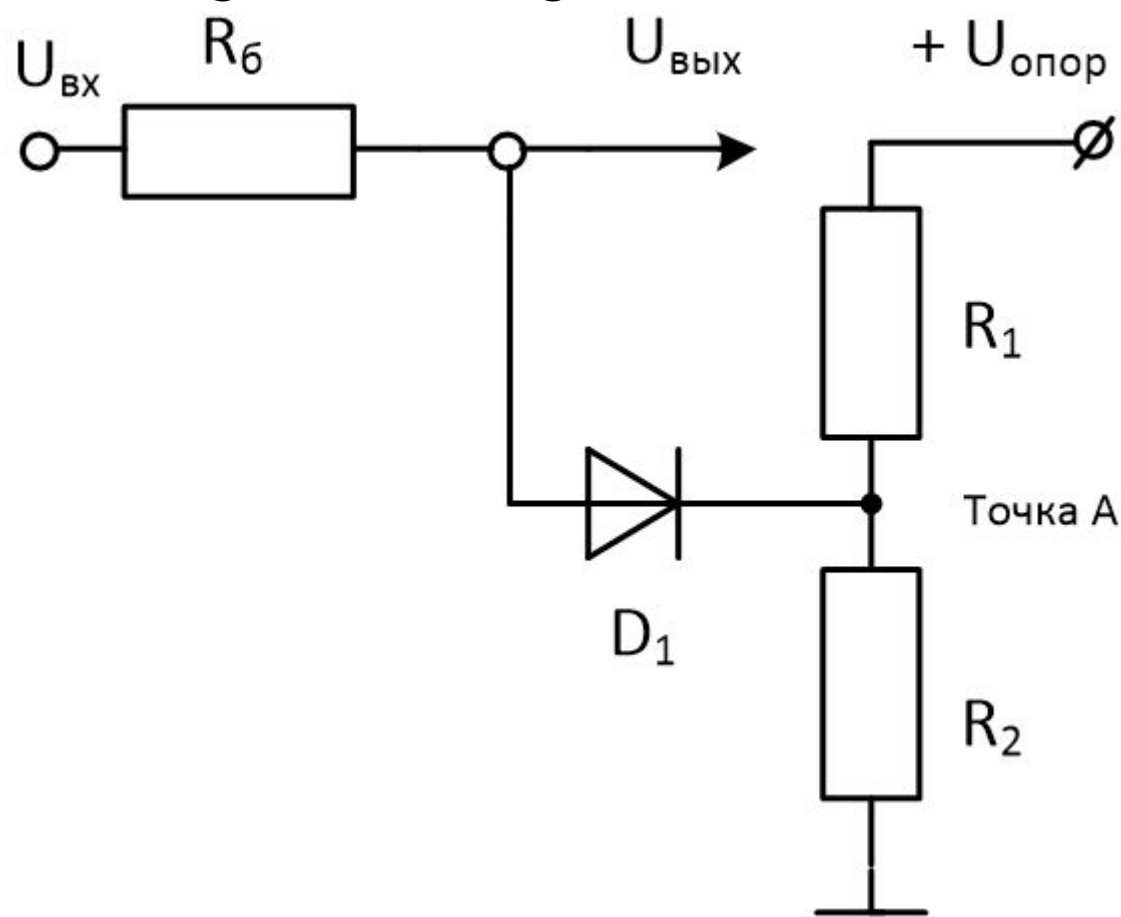
э.



Регулируемый ограничитель



Регулируемый ограничитель

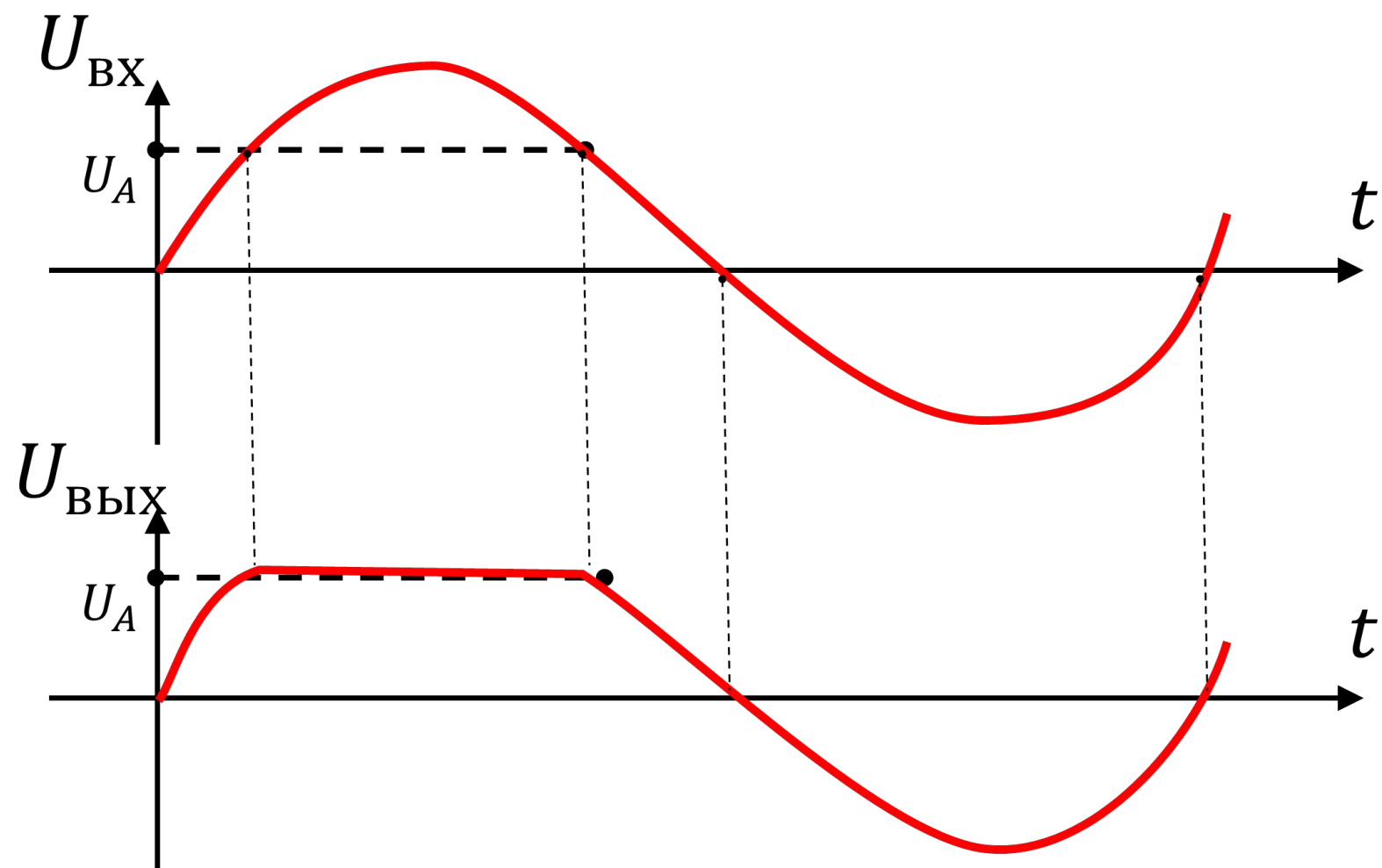


Предположим, что входной сигнал – синусоидальный, для отрицательных значений диод – закрыт, пока сигнал не превысит U_A – направление в точке А, сигнал проходит без ограничений, так как диод остаётся закрыт

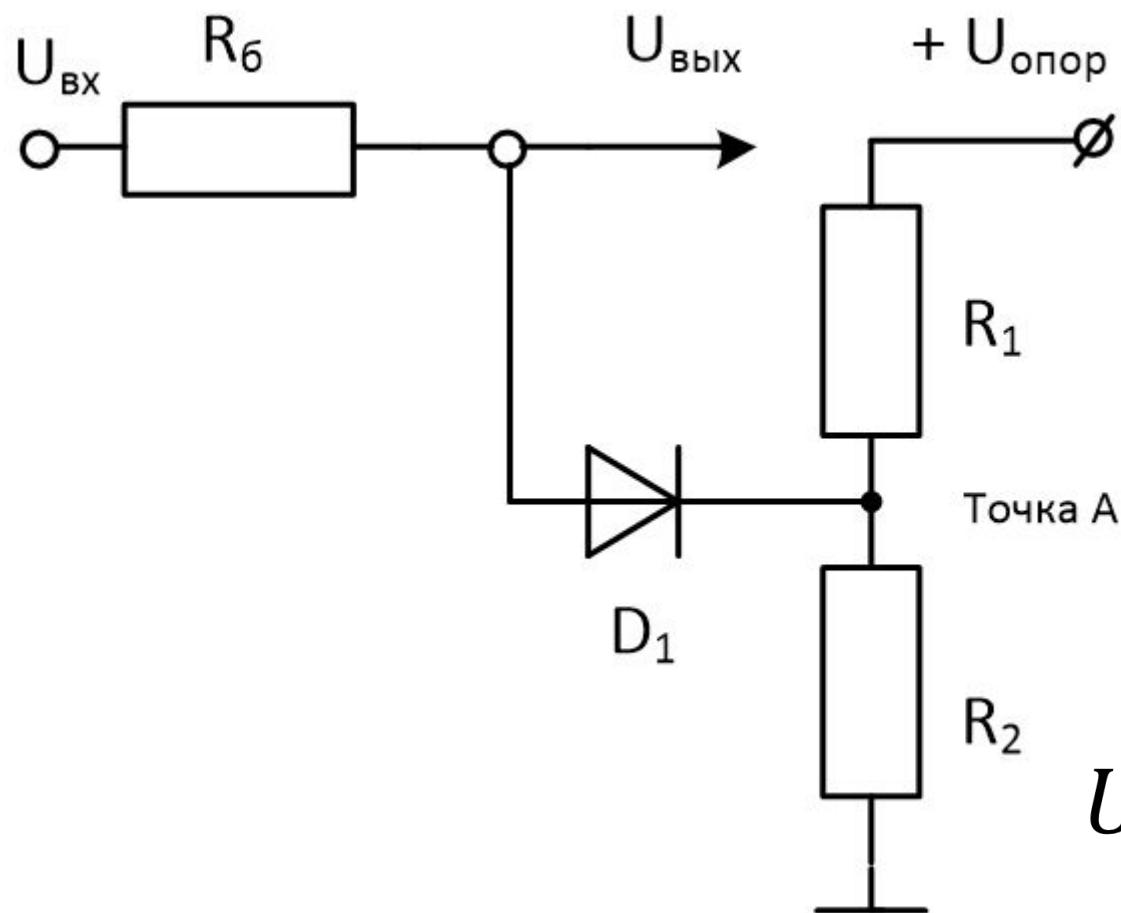
Когда $U_{ВХ} \geq U_A (+0.6\text{ V})$

[напряжение, которое нужно, чтобы диод открылся]

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



Регулируемый ограничитель



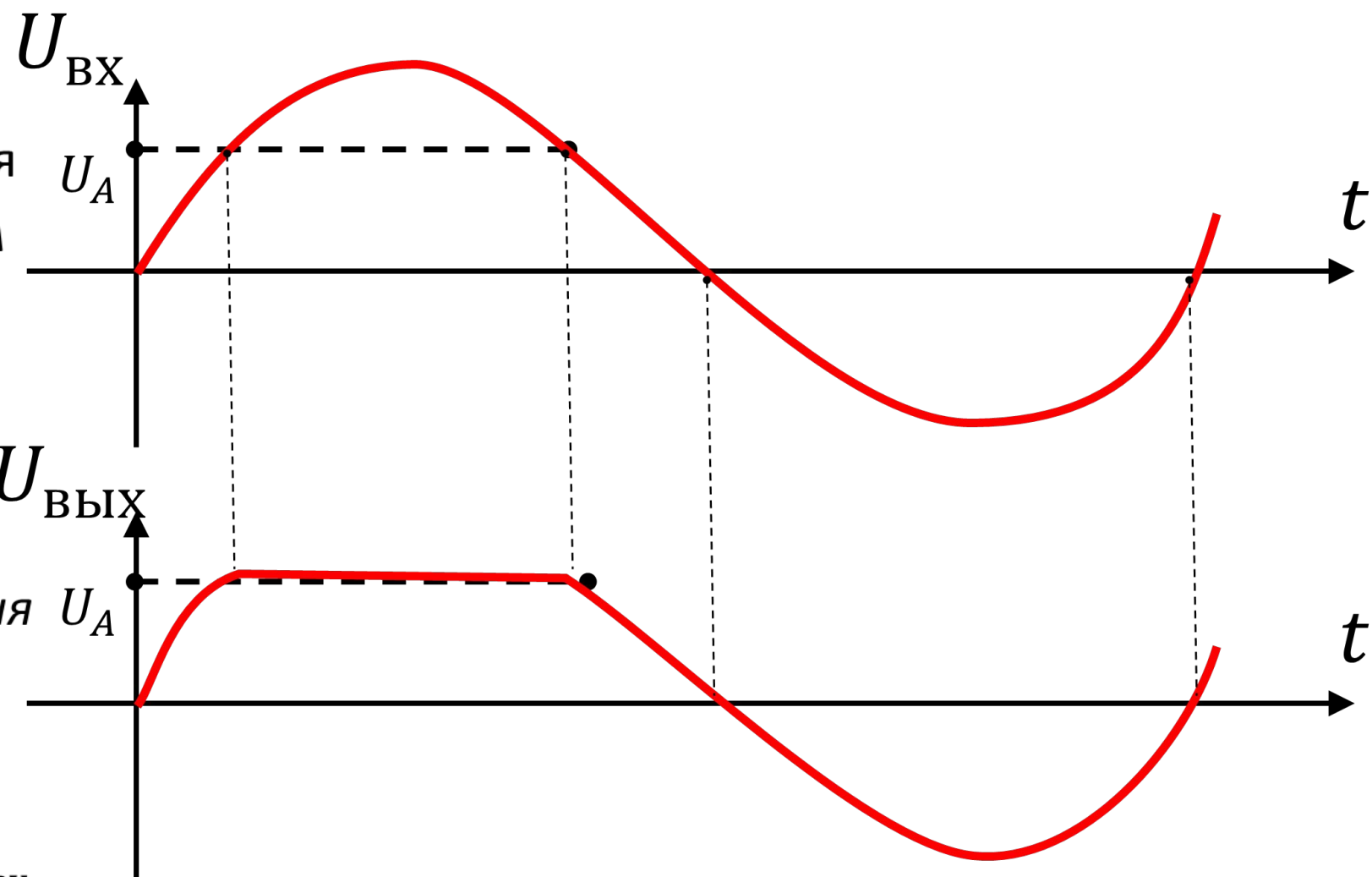
Когда $U_{ВХ} \geq U_A (+0.6 V)$ [напряжение, которое нужно, чтобы диод открылся]
Диод открывается, к выходу оказывается **подключен делитель (R_1, R_2)**
При дальнейшем повышении $U_{ВХ}$ возрастает ток через диод и делитель (R_1, R_2)

Так как ток возрастает, то увеличивается напряжение на R_6 (балластное), причём тем больше, чем больше ток.

На графике вершина синуса сильно ограничена.

Степень сглаженности вершины к прямой линии зависит от соотношения резисторов делителя и балластного

При выполнении $R_6 \gg R_1 + R_2$ потенциал в точке А не зависит от $U_{ВХ}$



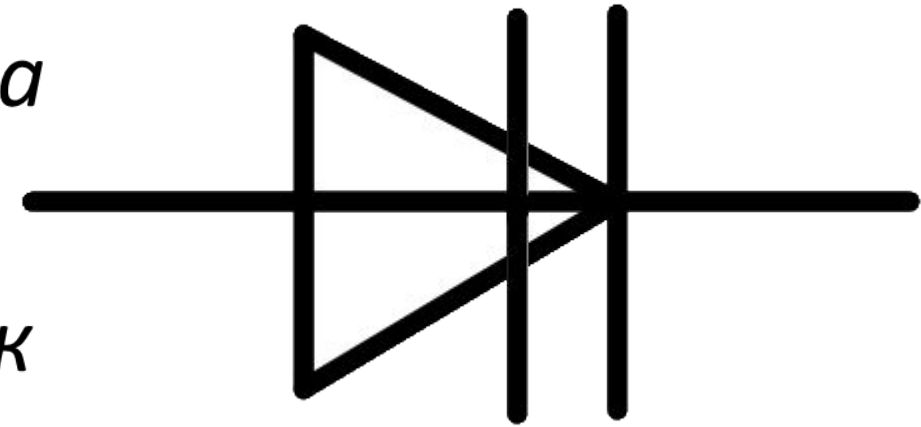
ДИНИСТОРЫ



ДИНИСТОРЫ

Диод, который начинает пропускать при большом значении напряжения ($\approx 30V$), а не $0,6V$ как обычный кремниевый диод, «пробивается», превращаясь в проводник

Если подать обратное напряжение, то будет работать как диод:



- *Электрический
подъём*
- *Тепловое нагревание*
- *Тепловой пробой*
- *Разрушение
кристалла*

ДИНИСТОРЫ

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

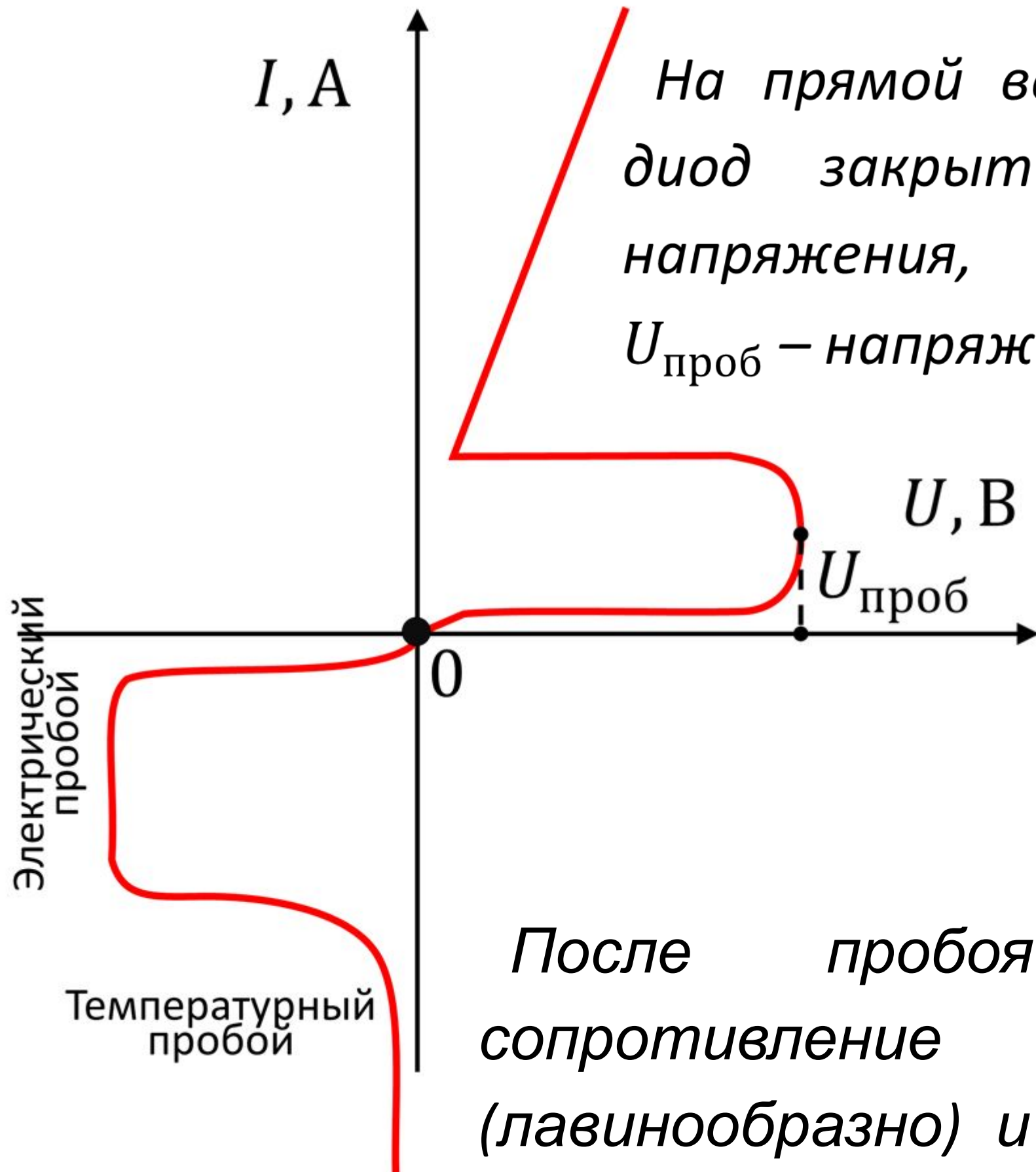
состояния:

- 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

ДИНИСТОРЫ



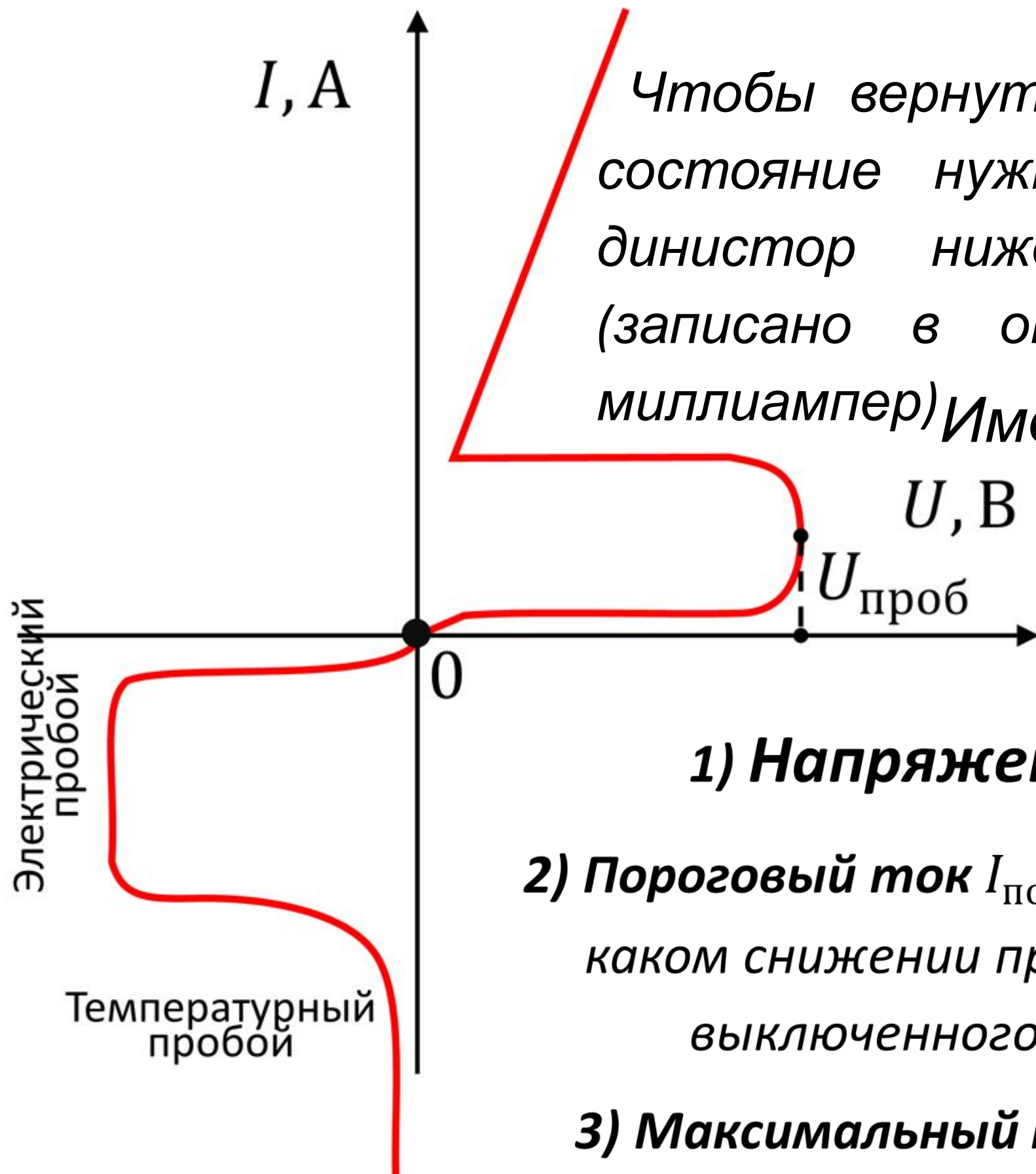
На прямой ветви ВАХ диода – диод закрыт до уровня прямого напряжения, которое называется $U_{\text{проб}}$ – напряжение пробоя диода

Величина $U_{\text{проб}}$ зависит от типа диода и имеет порядок:

$$\approx 30 - 40 V$$

После пробоя диода его сопротивление резко падает (лавинообразно) и диод ведёт себя как диод

ДИНИСТОРЫ



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

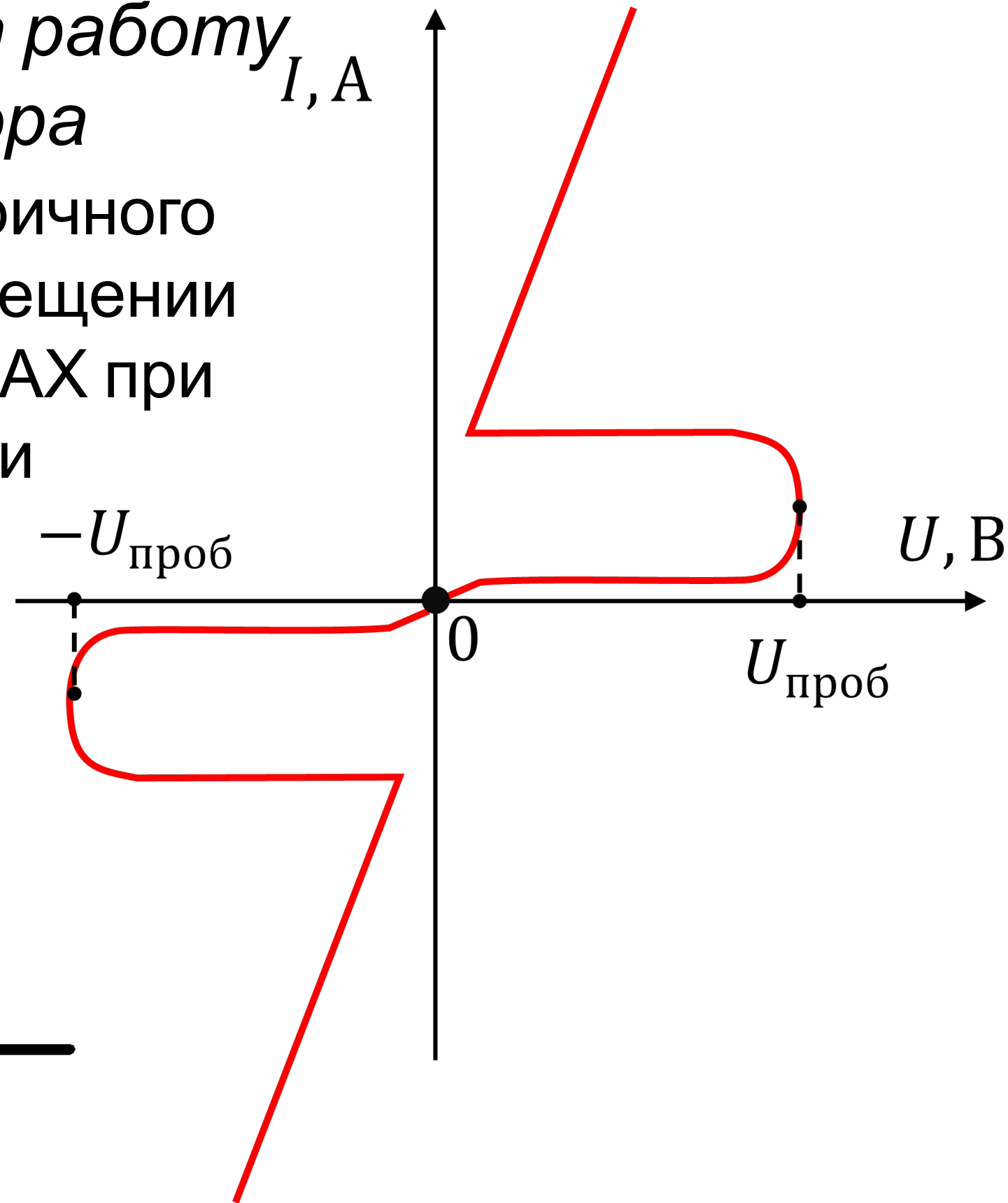
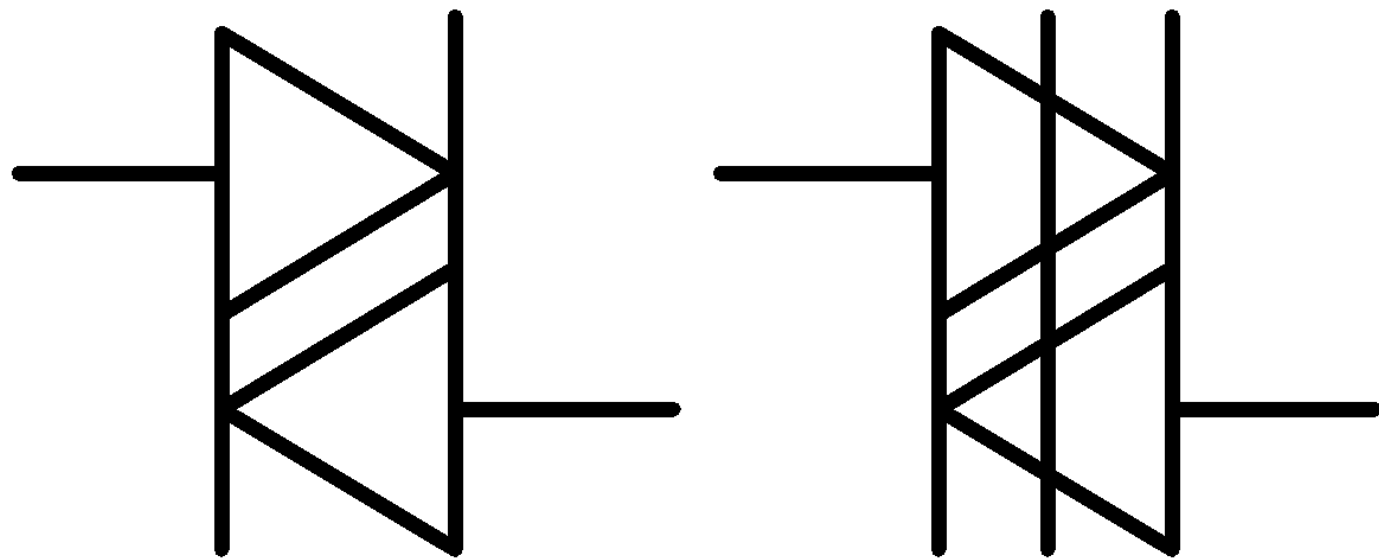
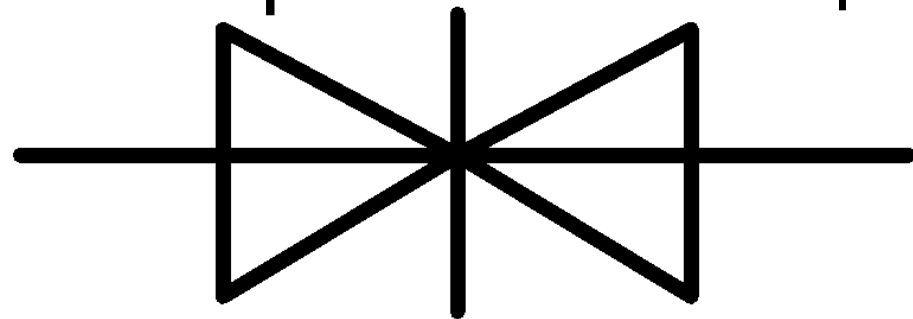
ГЛАВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА:

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

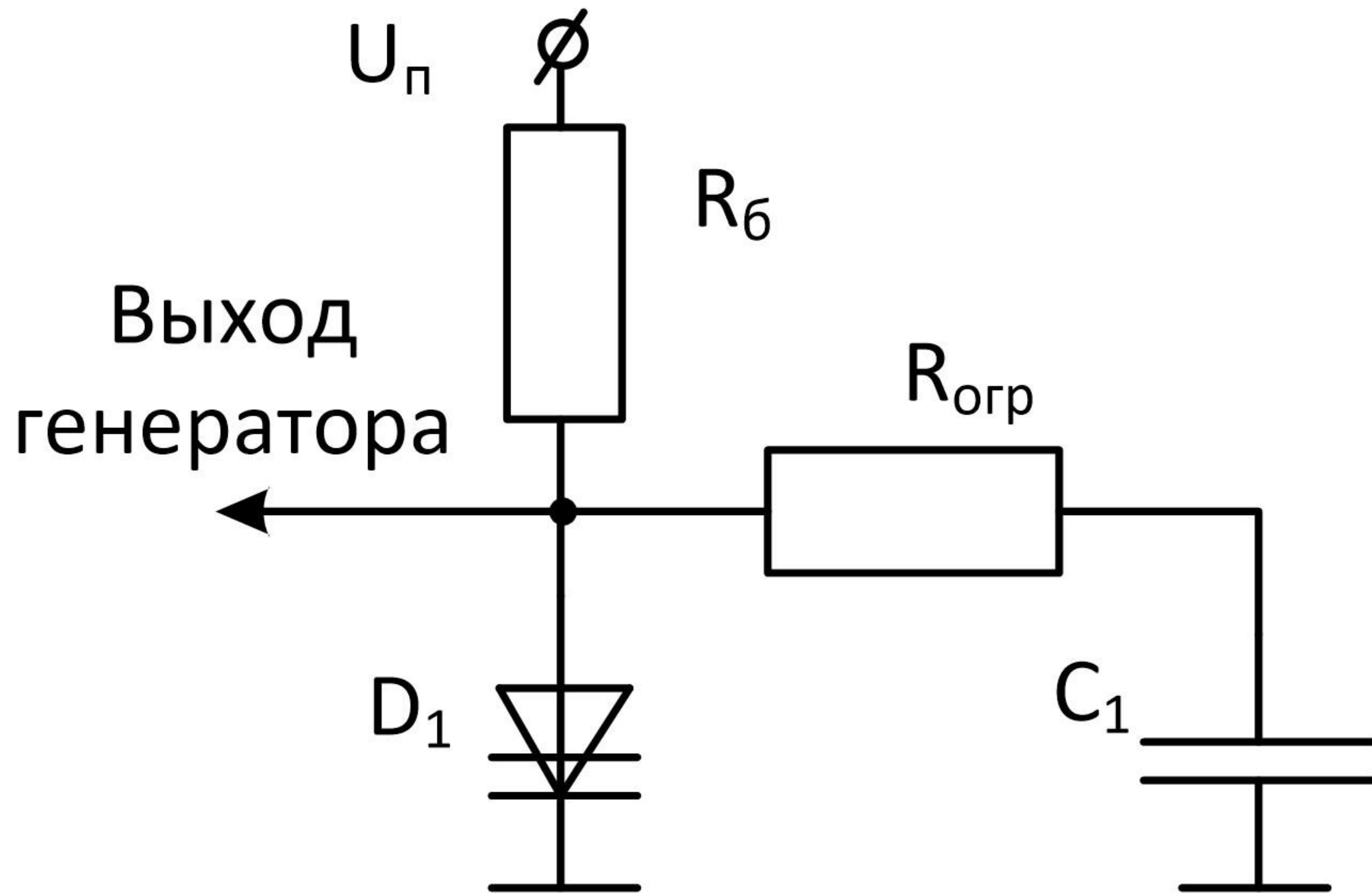
СИММЕТРИЧНЫЙ ДИНИСТОР

Работа очень похожа на работу
обычного динистора I, A

Отличие: ВАХ симметричного
динистора при прямом смещении
полностью совпадает с ВАХ при
обратном смещении



ПРОСТЕЙШИЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ



ПРОСТЕЙШИЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ

D_1 – закрыт; C_1 – заряжен

РАБОТА СХЕМЫ:

1 фаза: Исходные состояния: C_1 – разряжен, D_1 – закрыт

Начинается зарядка C_1 током от источника питания через R_6 (балластное) и через небольшой величины $R_{огр}$

Напряжение на C_1 растёт по **экспоненциальному закону**

Напряжение на D_1 практически повторяет напряжение на C_1 (так как сопротивление $R_{огр}$ достаточно мало)

Когда напряжение на C_1 (и на D_1) достигает $U_{проб}$ диодистора - D_1 – пробивается. Наступает 2-ая фаза работы генератора

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

1-ая составляющая тока: ток разряда C_1

$R_{огр}$ нужно, чтобы ограничить ток разряда, без него ток (в теории) будет ∞ , но в действительности – десятки ампер, прибор сгорит

Если на $C_1 = 50$, а $R_{огр} = 100$ Ом, то $I_{огр} = 1$ А

Ток разряда быстро, экспоненциально падает и достигает почти нулевых значений, при этом вторая составляющая 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 диодистора, D_1 – закрывается и начинается **фаза 1** и так далее (например, 1000 раз в секунду)

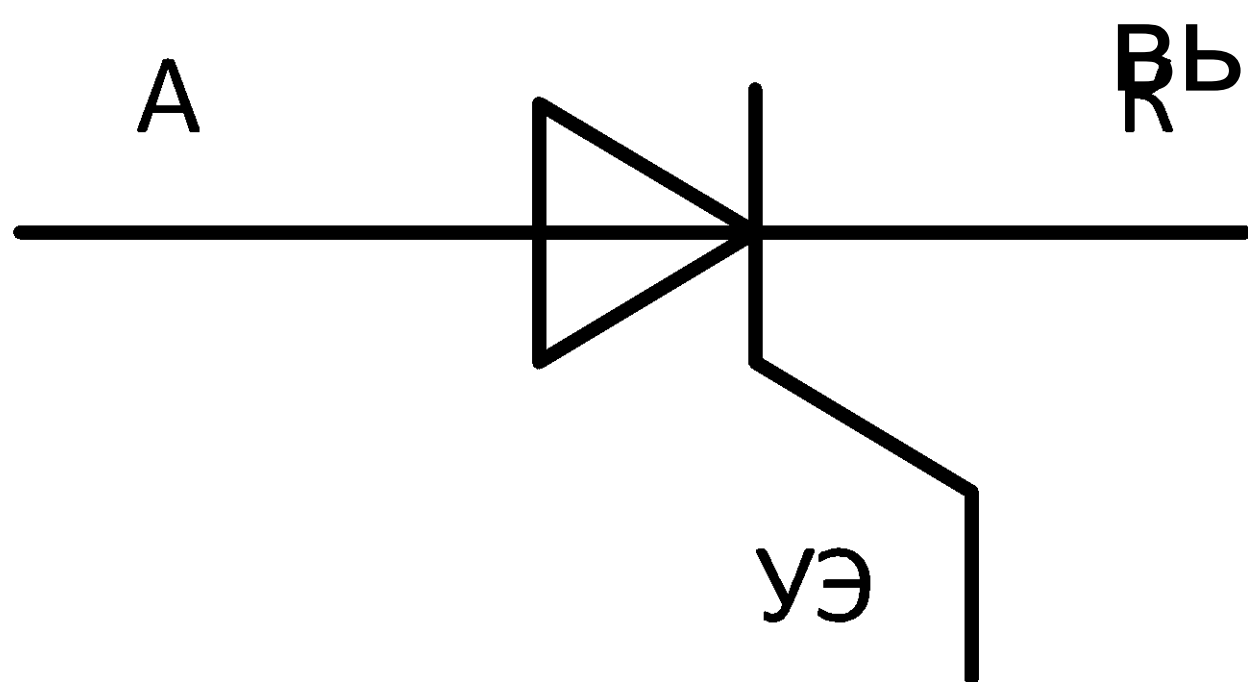
ТИРИСТОР



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

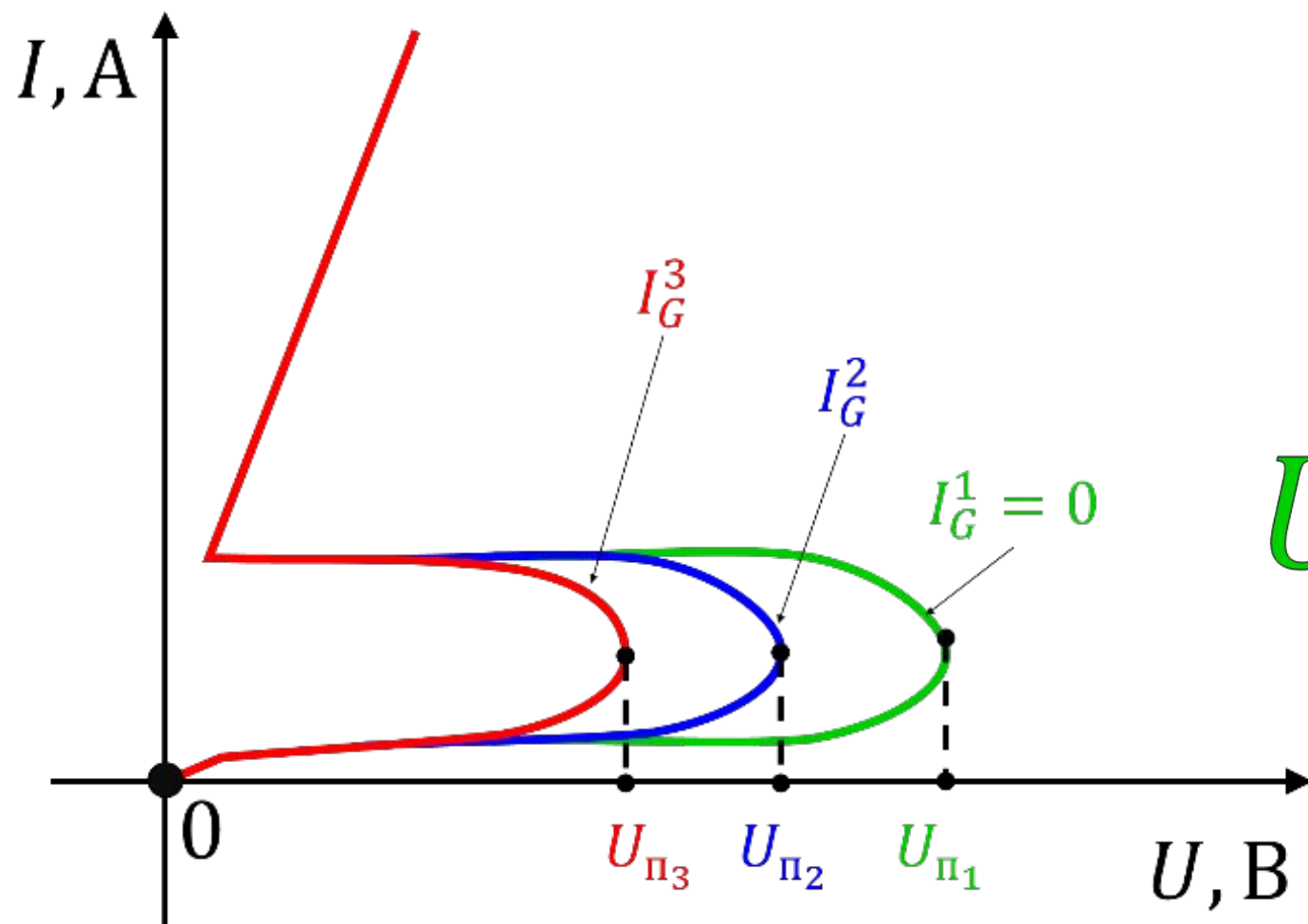


вывода.

Этот вывод часто называют **ГЕЙТОМ** (GATE), регулирование осуществляется путём пропускания тока через вывод, зависимость напряжения от тока управляющего вывода – **ОБРАТНАЯ**

ТИРИСТОР

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



$$I_G^1 < I_G^2 < I_G^3$$
$$U_{П1} > U_{П2} > U_{П3}$$

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

СИМИСТОР

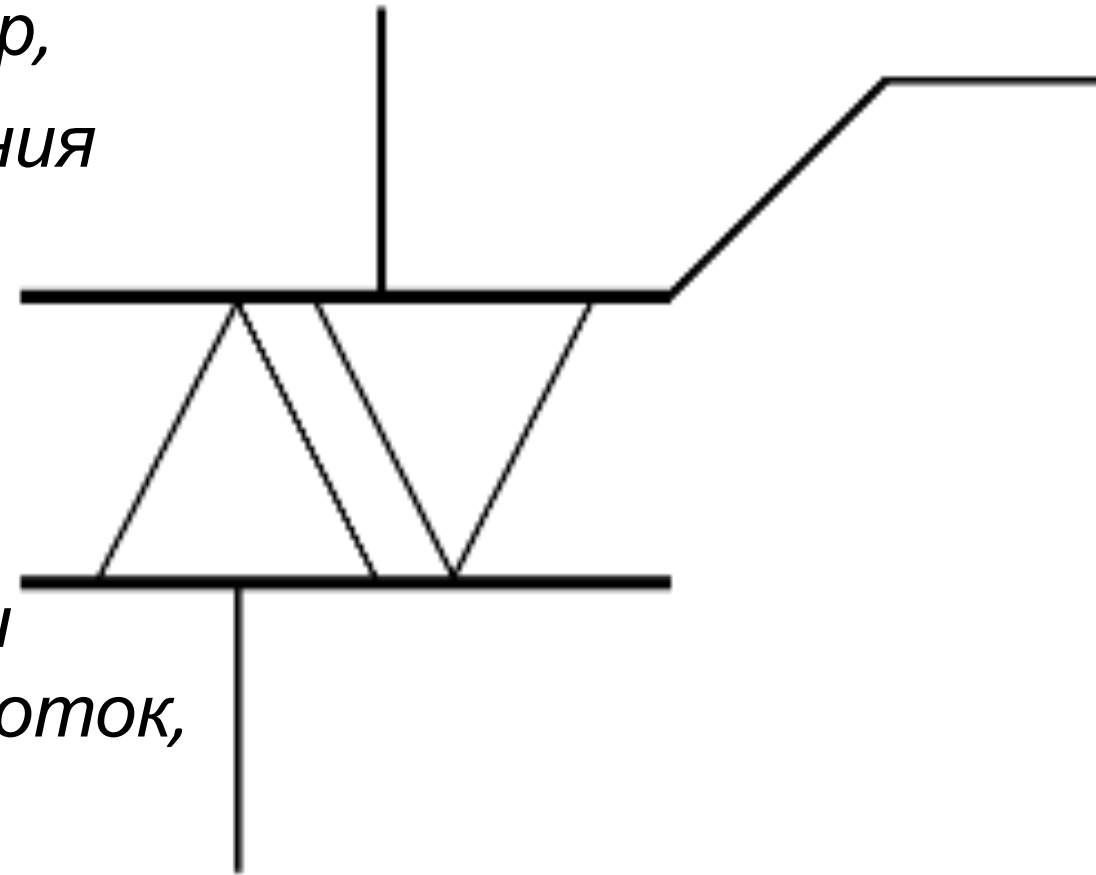
Симистор

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)

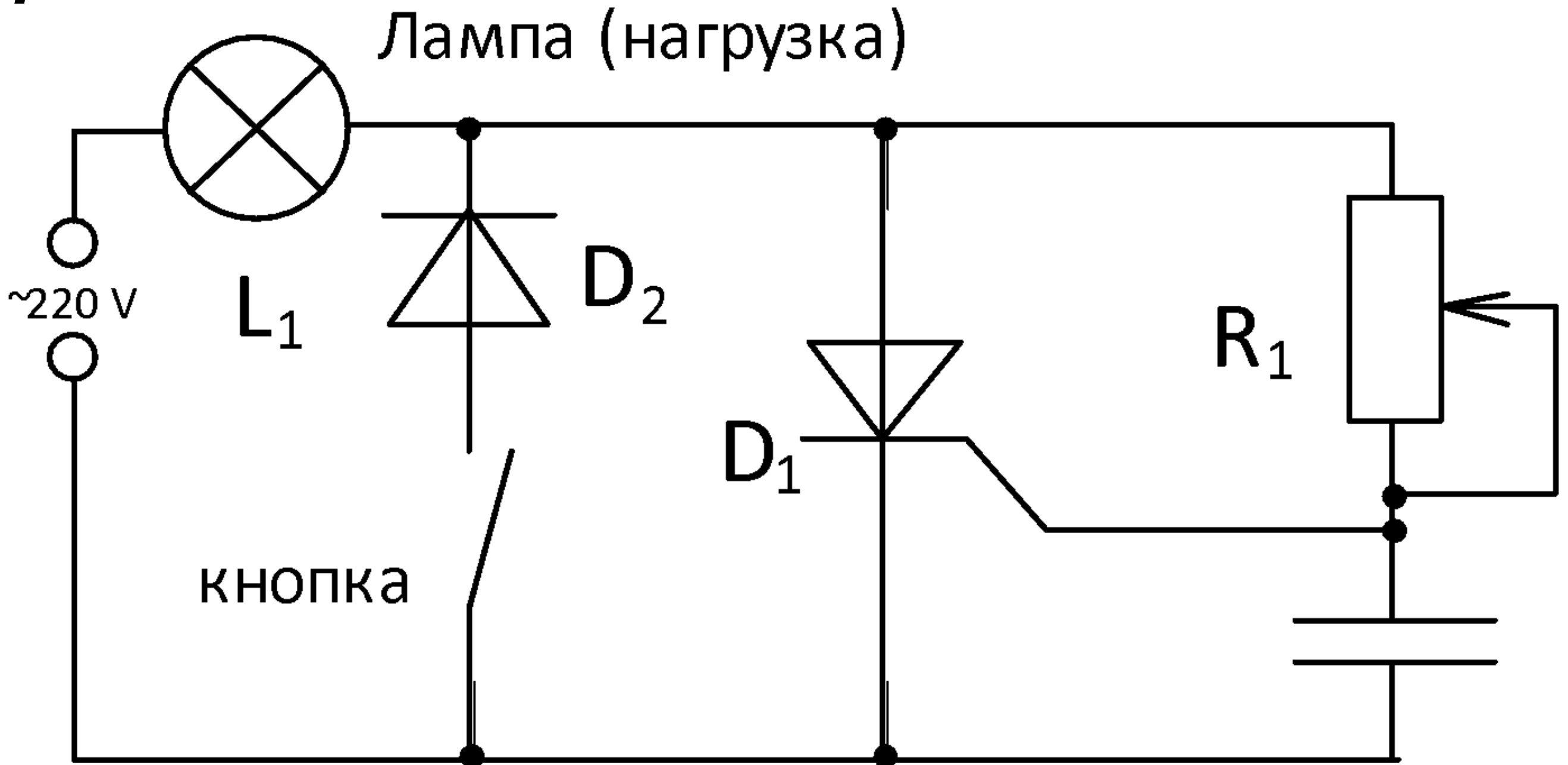
При подаче напряжения внутри симистор открывается не сразу, а когда
волна доходит до нуля.

Напряжение нарастает, а симистор уже включен,
это требуется для того, чтобы нагрузка
подавалась НЕ УДАРНО

«Чувствительность к нулю»

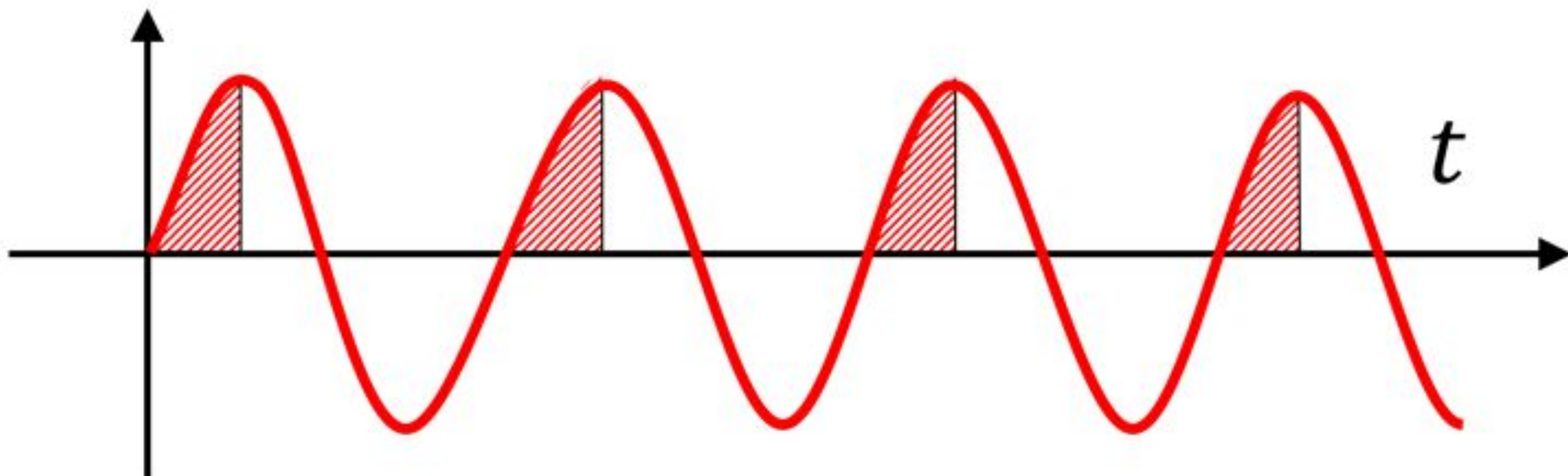
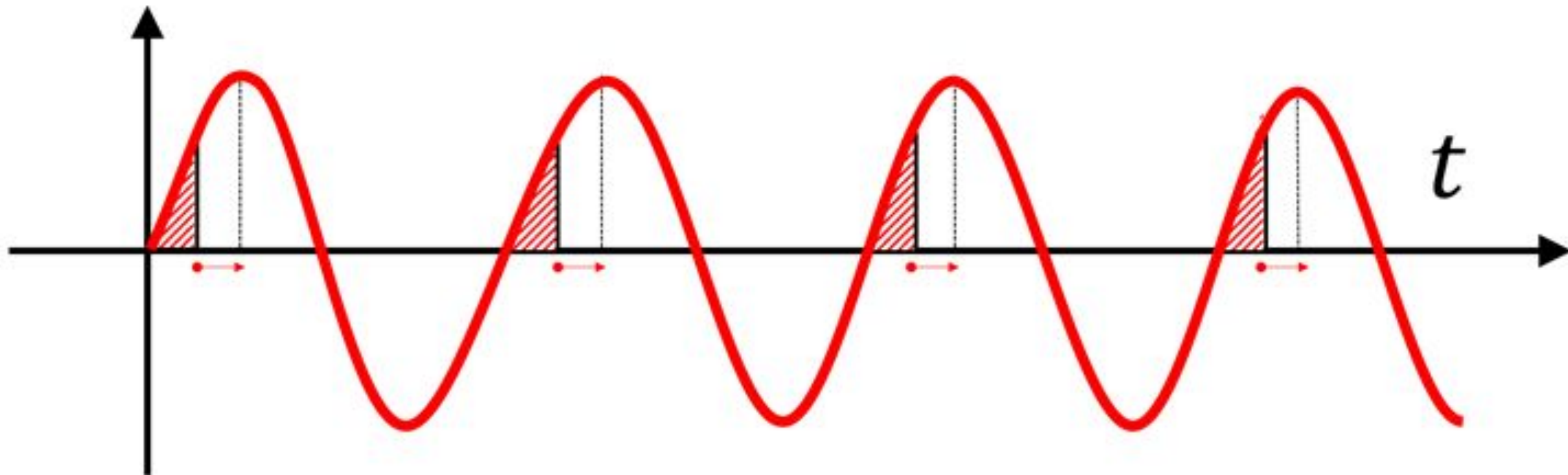
Симистор

Диммер



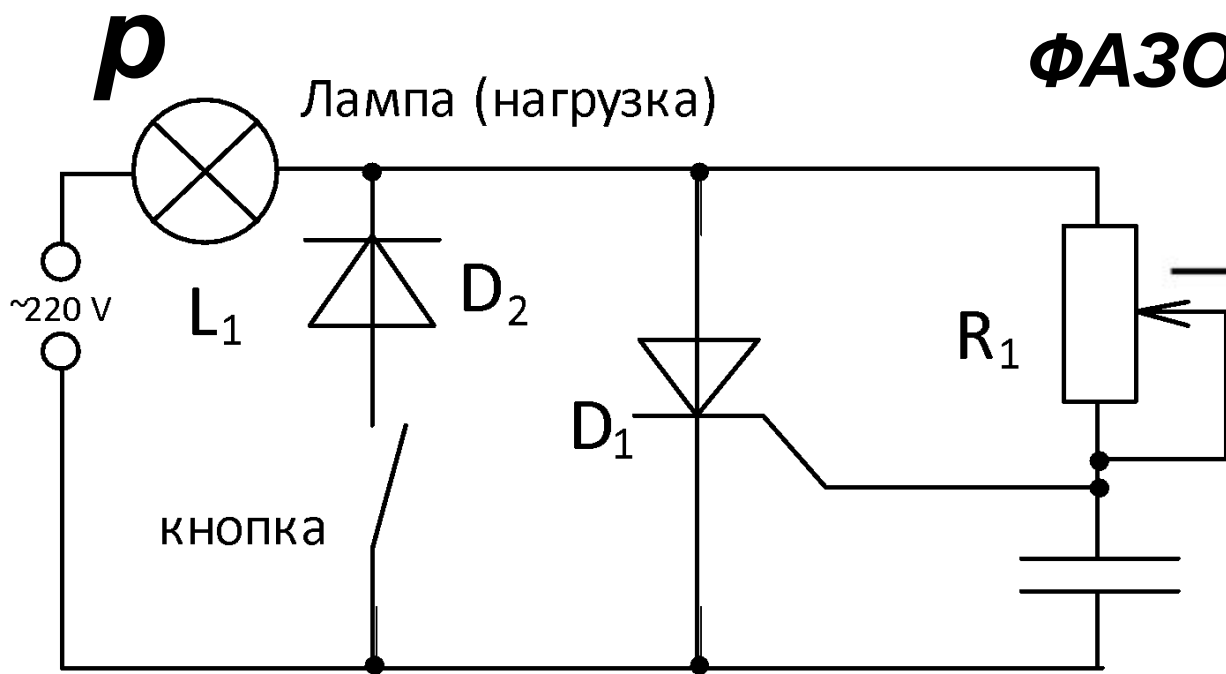
Симистор

Диммер
 ρ

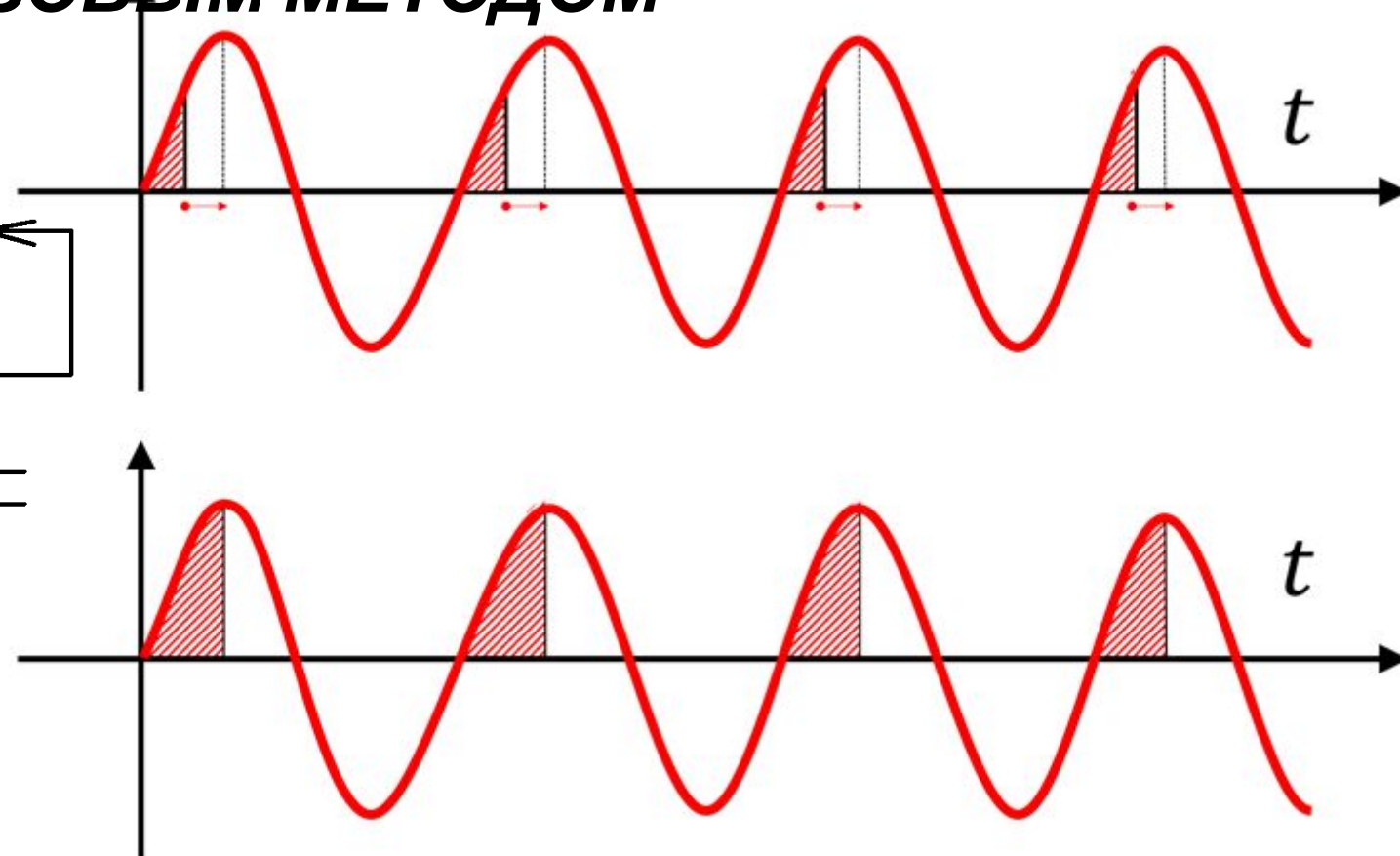


Симистор

Димме



ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИРИСТОРА В СХЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ФАЗОВЫМ МЕТОДОМ

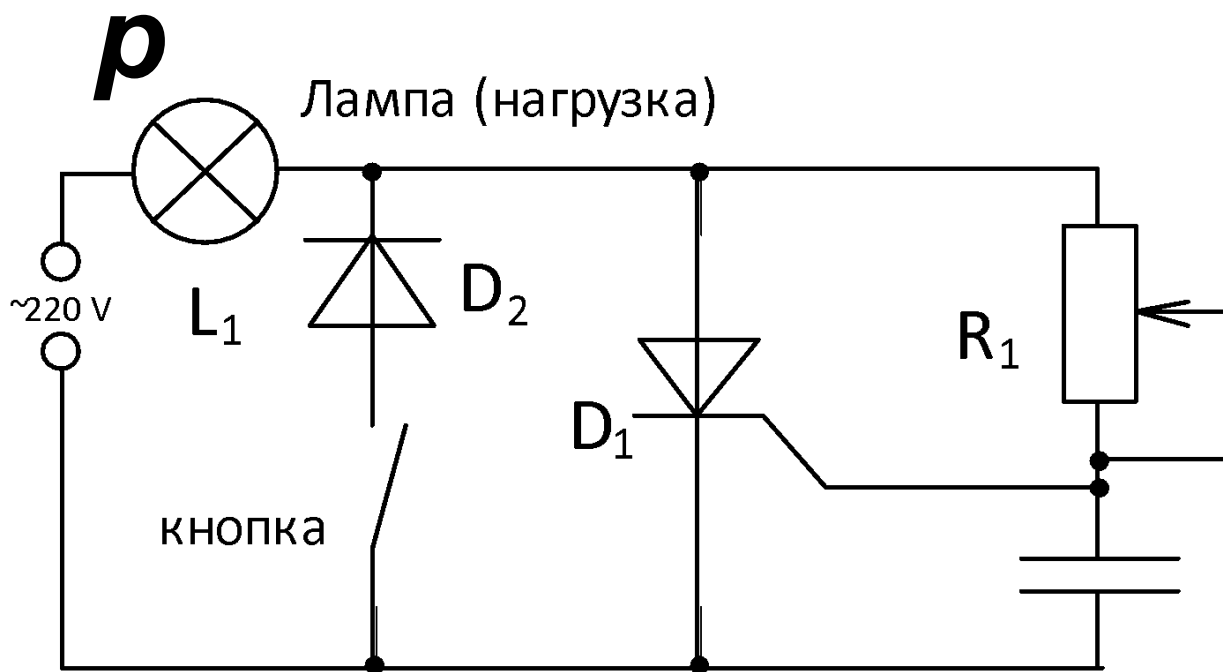


ДИММЕР – прибор для регулировки светимости

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

Симистор

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 $U_{\text{вход}}$ с некоторым сдвигом. Сдвиг фазы тем больше, чем больше R_1 .

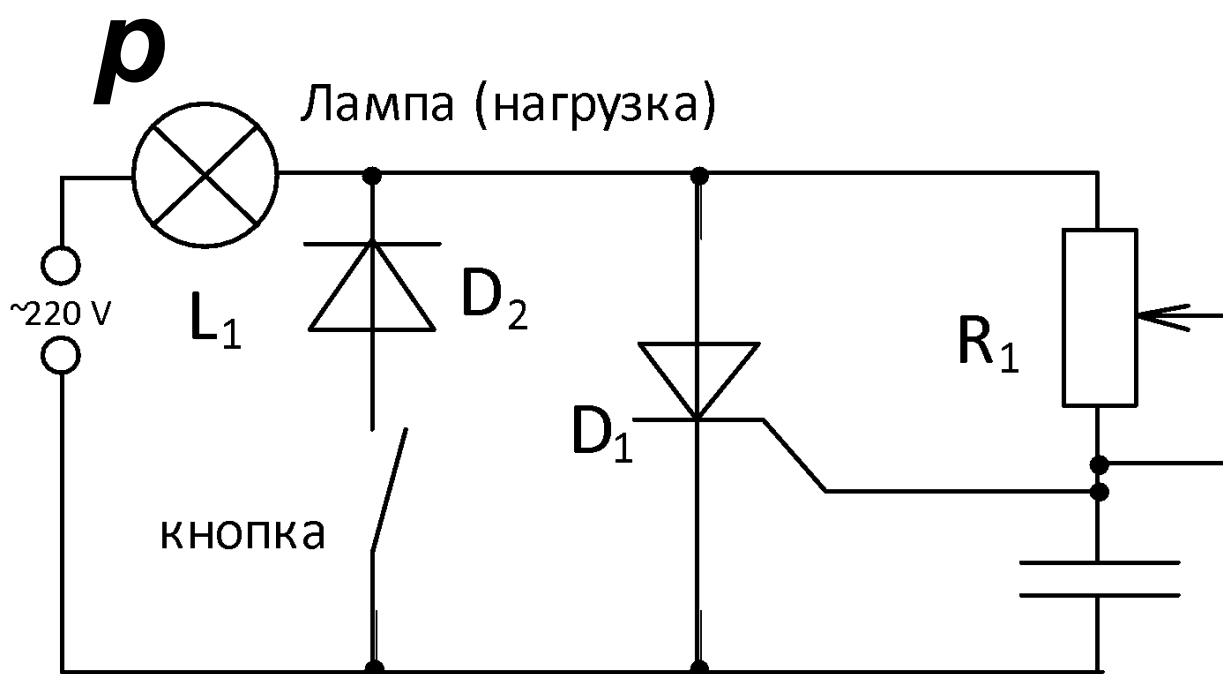
С ростом $U_{\text{вход}}$ растёт напряжение на C_1 за счёт тока через R_1 . Когда напряжение на GATE (и на C_1 в том числе) увеличивается до 1,5-2 V появляется ток управляющего электрода, то есть ток через R_1 разветвляется на 2 составляющих:

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;

Симистор

Диммер



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 $U_{\text{ВХОД}}$ состояние схемы сохраняется. Когда полупериод синусоиды перешёл в фазу снижения напряжения – состояние схемы сохраняется вплоть до снижения $U_{\text{ВХОД}}$ 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)

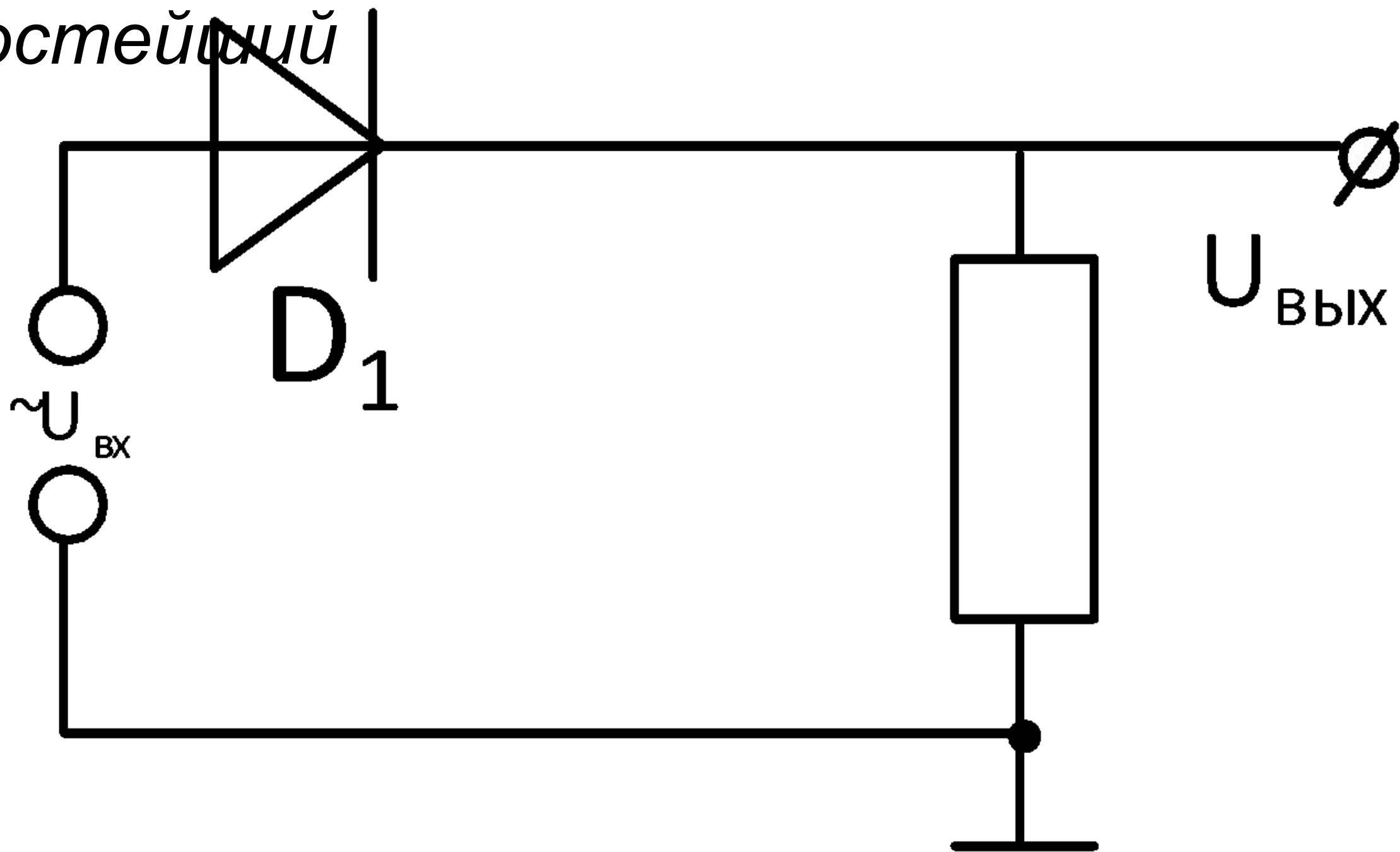
На самом деле границы не 50% и 100%, а примерно 30% и 80%, так как нельзя обеспечить маленькие части синусоиды

Вместо кнопки обычно ставят **ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ МОСТИК**

ДИОДНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Диодные выпрямители

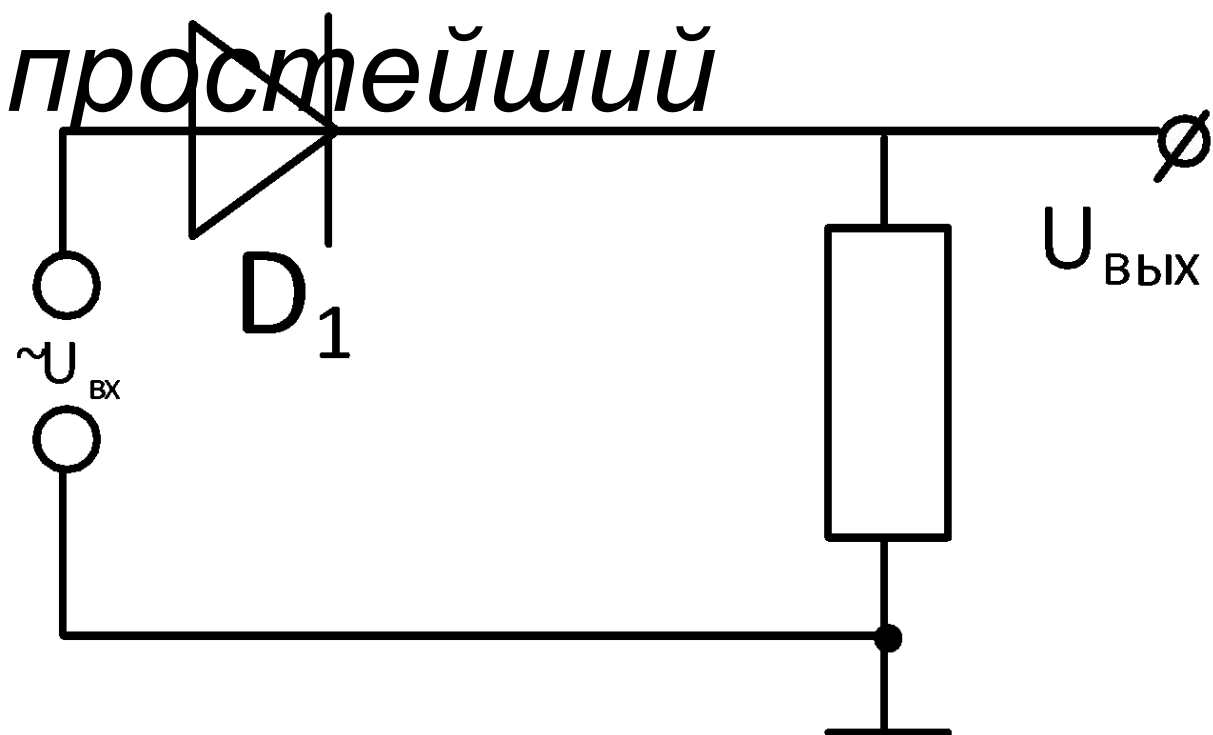
- **Однополупериодный выпрямитель:**
простейший



Диодные выпрямители

• **Однополупериодный выпрямитель:**

простейший



Плюсы/Минусы

+ предельная простота

- высокий уровень пульсаций на выходе однополупериодного выпрямителя

- из синусоиды пропускает только полпериода

Для борьбы с пульсацией используют

ФИЛЬТРИРУЮЩИЙ КОНДЕНСАТОР

параллельно $R_{нагр}$

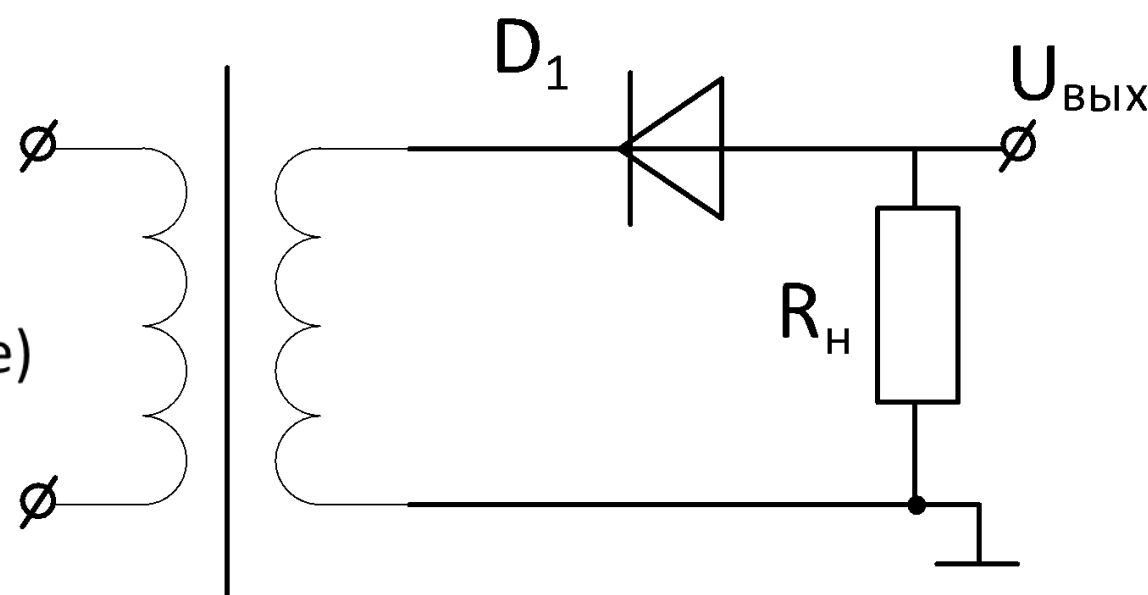
Трансформатор не обязателен

Схема выпрямителя, другое расположение (направление)

диода

Пульсации характеризуют среднее значение входного напряжения

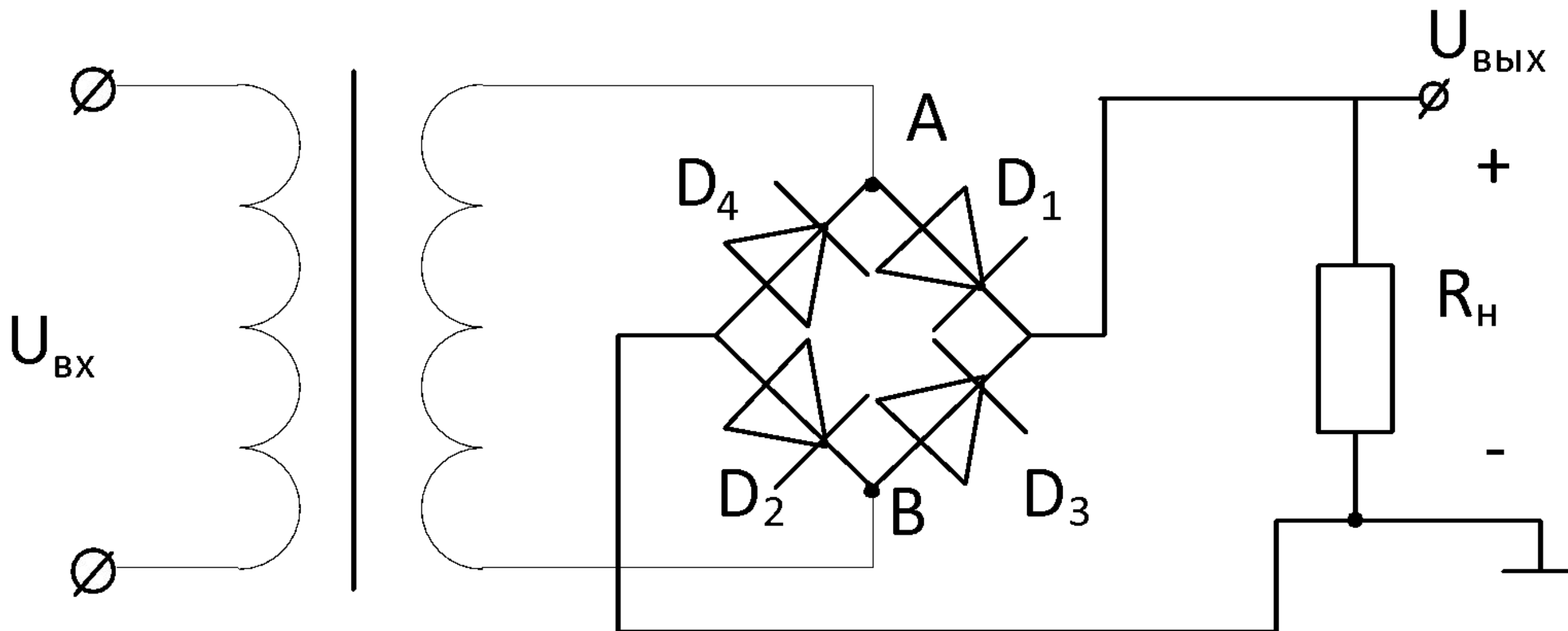
$$U_{ср} = 0,318 \cdot U_{max}$$



Диодные выпрямители

• Двухполупериодный выпрямитель:

ДИОДНЫЙ МОСТИК



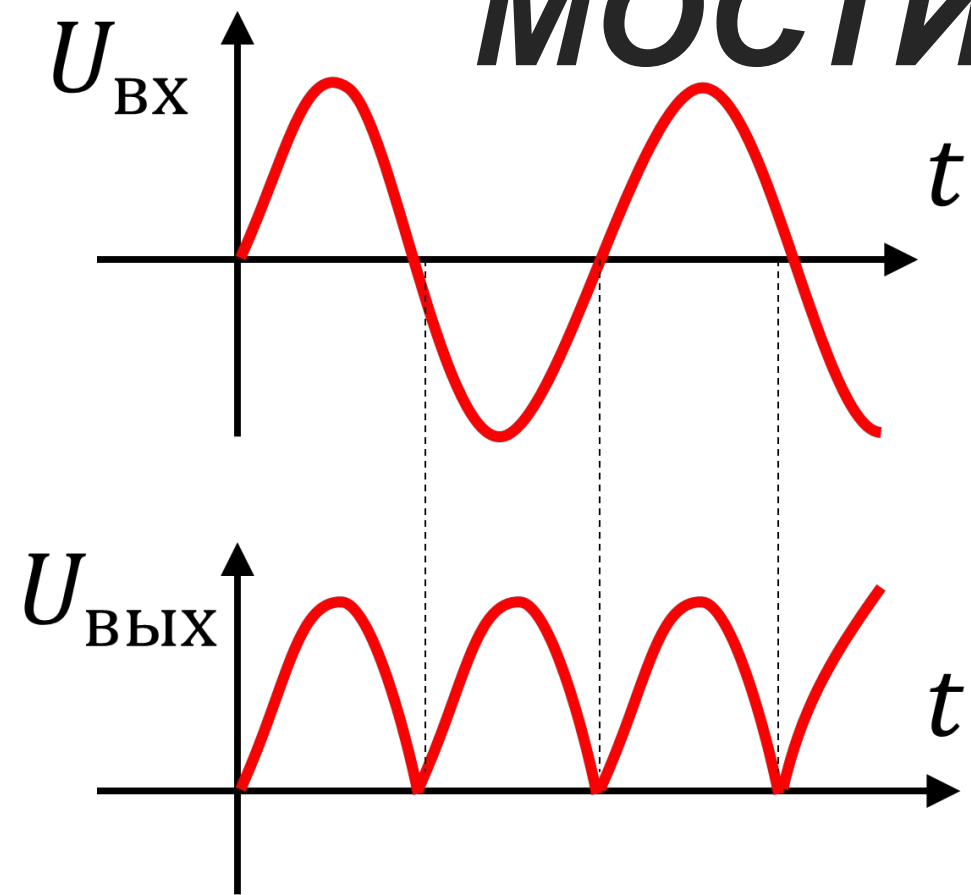
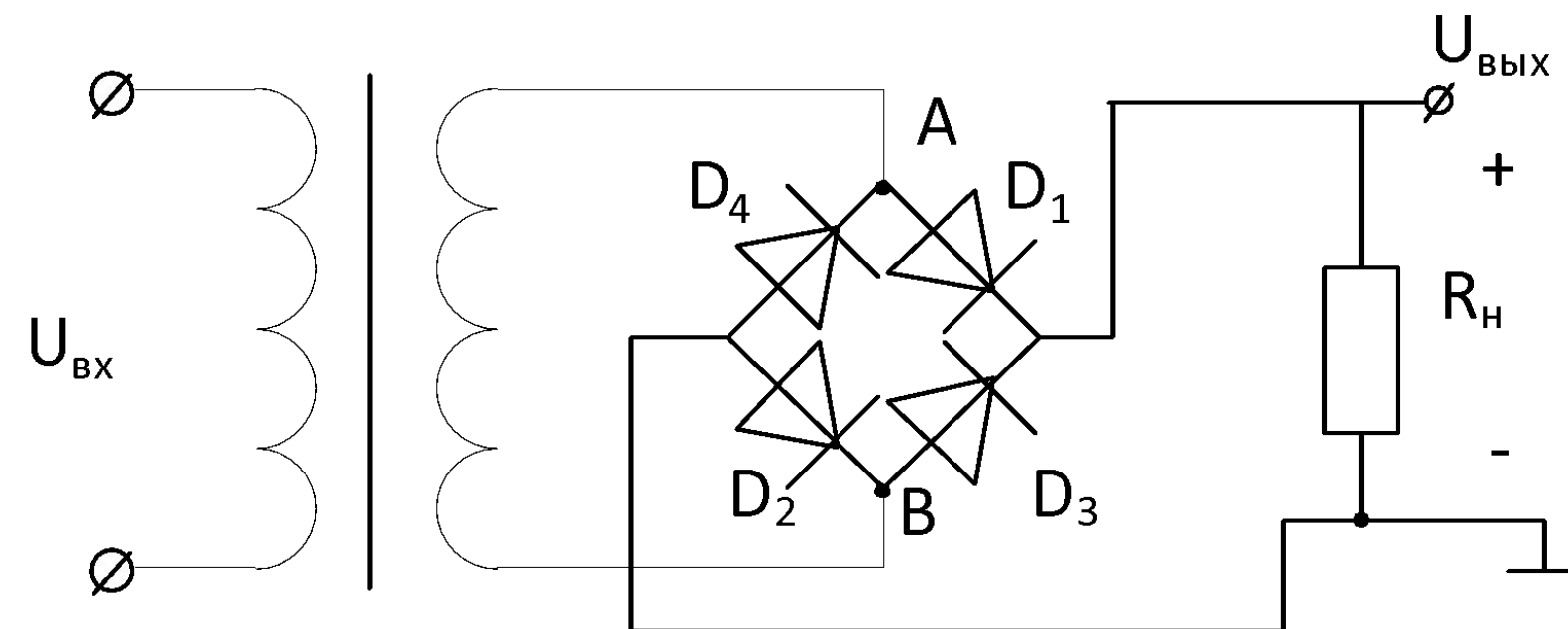
Правило: $U_{ВЫХ}$ соответствует двум одинаковым выводам диодов (анод к аноду, катод к катоду), там где «-» - 2 анода

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

Диодные выпрямители

• Двухполупериодный выпрямитель

ДИОДНЫЙ 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 А и В местами, поэтому из точки А через открывшийся D_4 «-» поступает на выходной «-» выпрямителя. «+» из точки В через открывшийся D_3 поступает на выходной «+» выпрямителя. В этой фазе диоды D_1 и D_2 – ЗАКРЫТЫ.

Общий вид напряжений на выходе

Диодные выпрямители

Обеспечивает подключение в зависимости от знака с

разбалансированностью
ПЛЮСЫ/МИНУСЫ

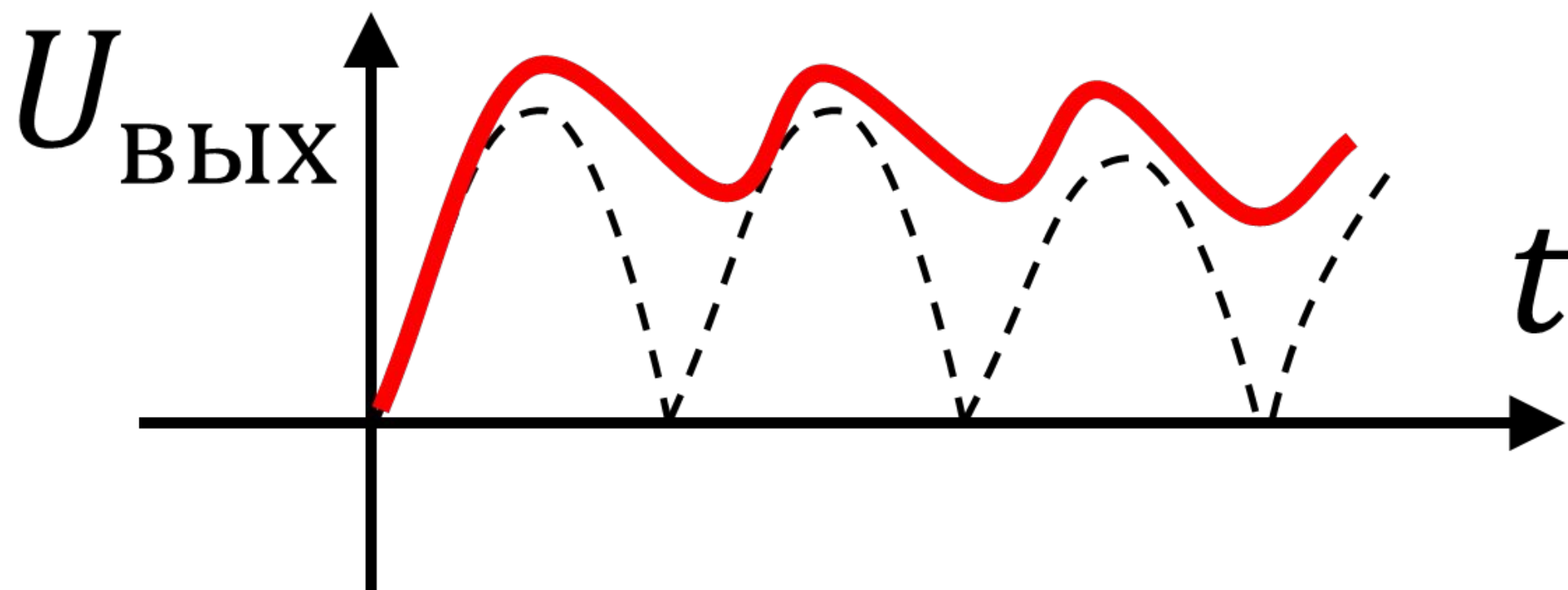
- Большое число диодов

+ Понижение пульсации

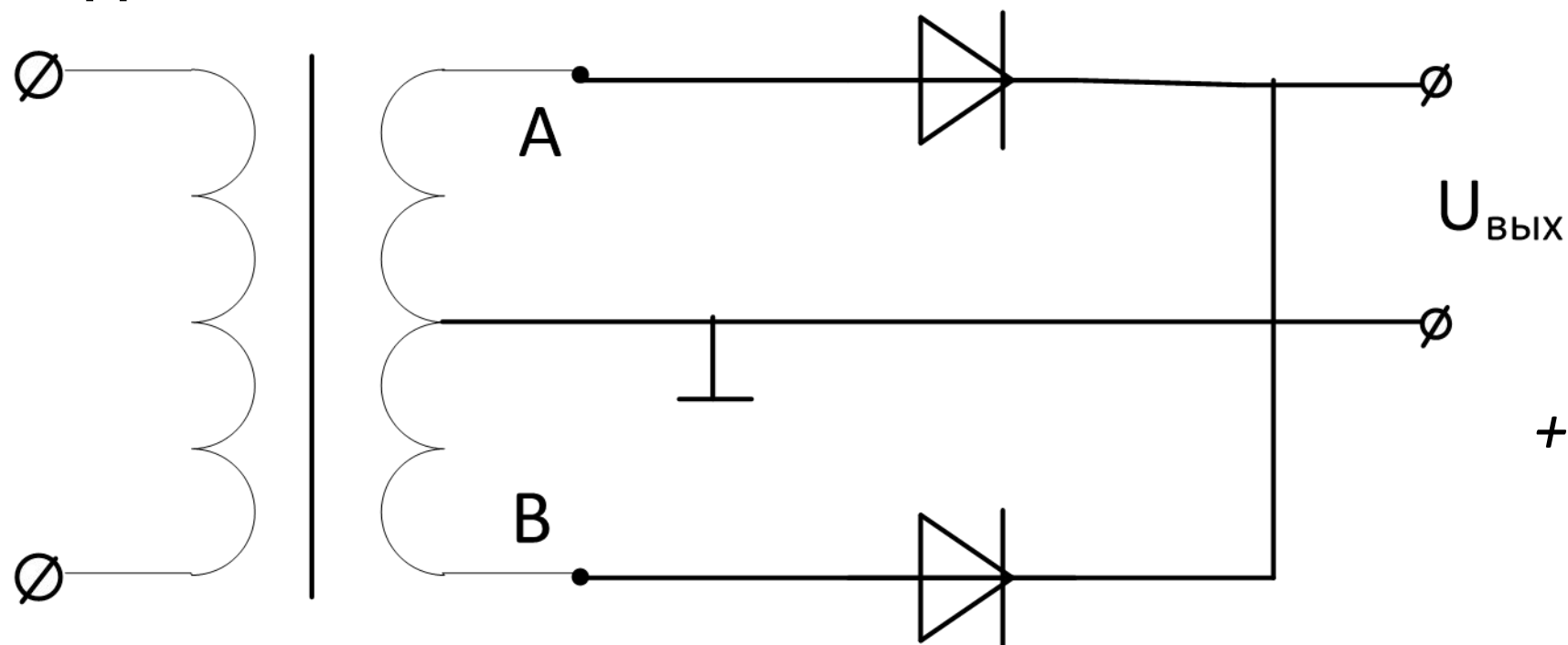
$$U_{\text{ср}} = 0,636U_{\text{max}}$$

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:

- + мало диодов
(греется только 2 диода)
- + низкий уровень пульсации

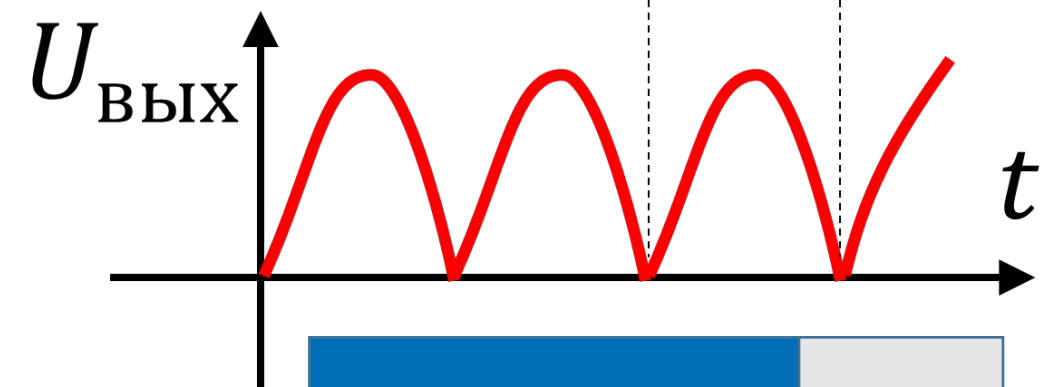
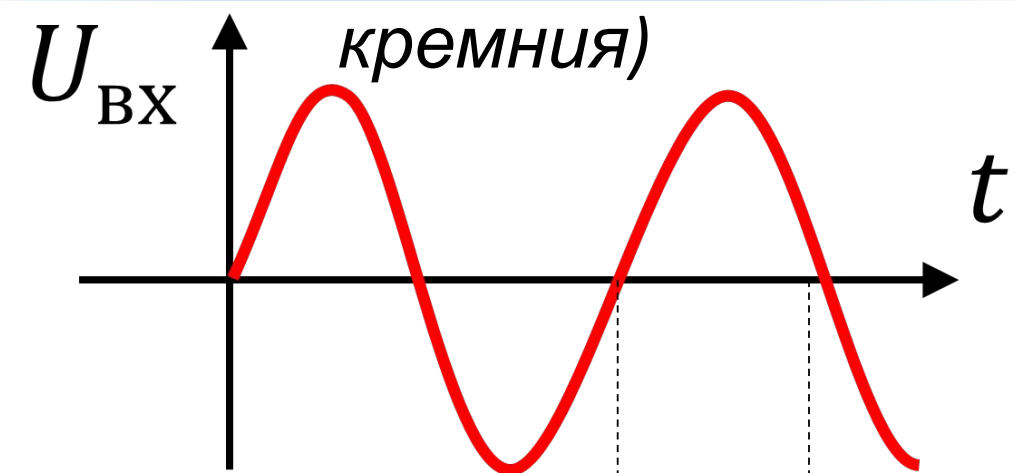
Недостаток:

- требуется 2 медные обмотки (медь дороже кремния)

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

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

A «-» и B «+»: D_2 – открыт, «+» проходит на выход через другое плечо



БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

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:

- **Эмиттер**
- **Коллектор**
- **База**

2 p-n перехода:

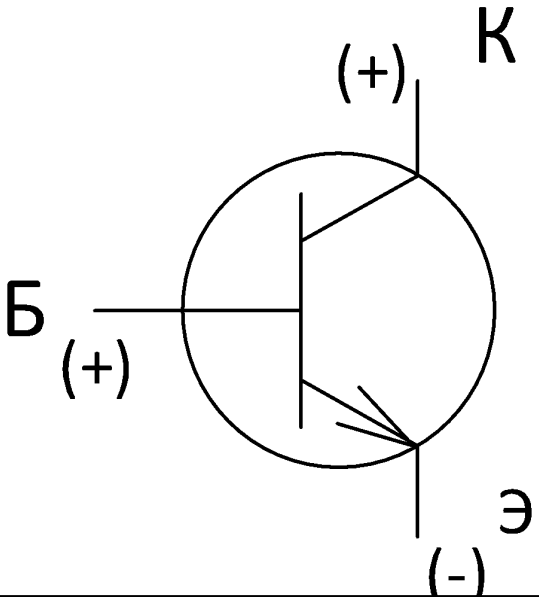
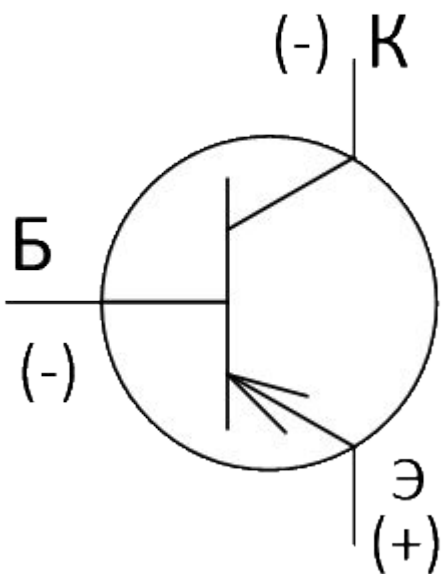
- **Эмиттерный переход** (между эмиттером и базой)
- **Коллекторный** (между коллектором и базой)

Различают два **типа биполярных**
транзисторов

БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

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

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

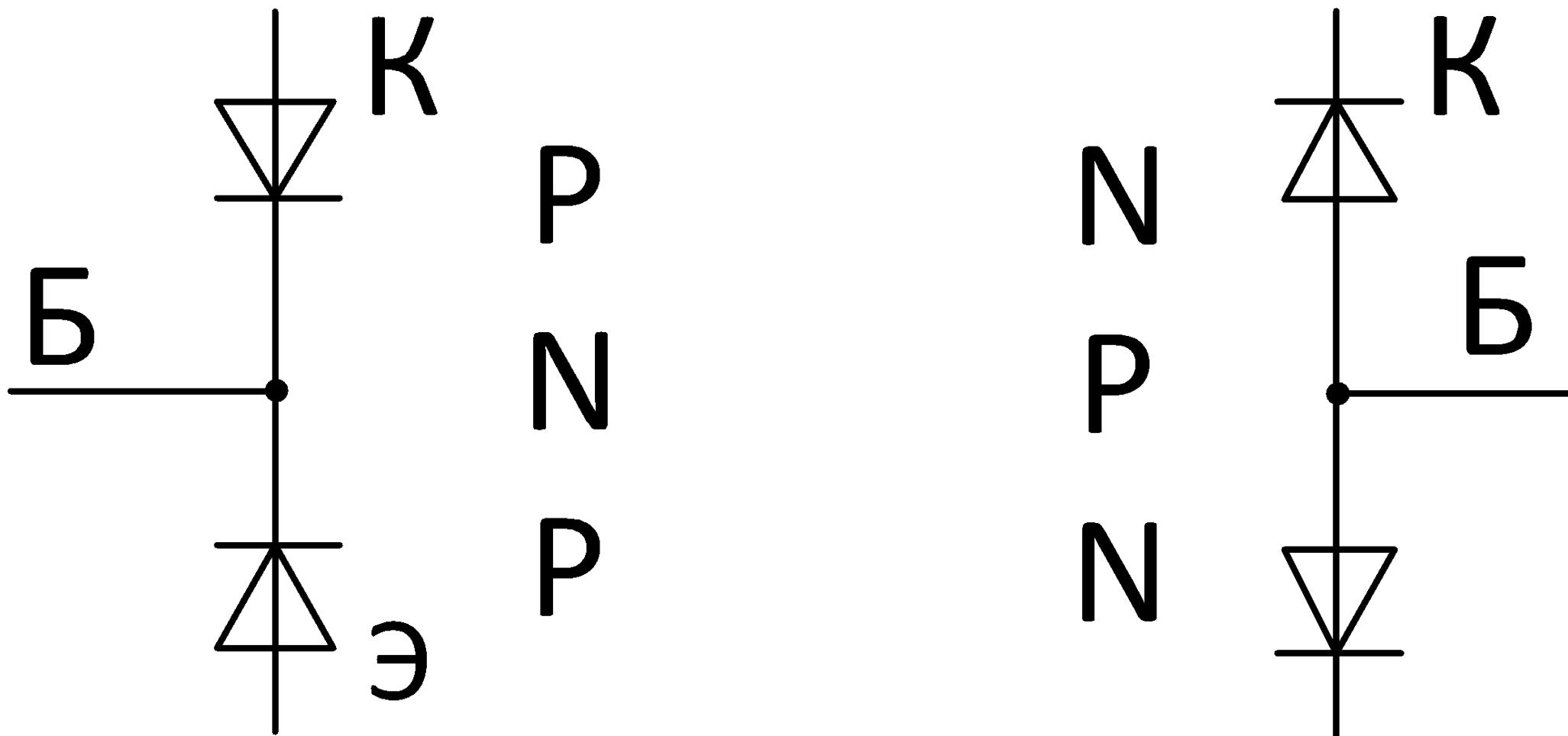
	<p>n-p-n</p> <p>Эмиттер наружу</p> <p>Чтобы он работал нужно подать на базу и коллектор «+», но на базе маленький плюс</p>
	<p>p-n-p</p> <p>Эмиттер внутрь</p> <p>Чтобы он работал нужно подать на базу и коллектор «-», но на базе маленький минус</p>

БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Упрощённая эквивалентная диодная схема:

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

Транзисторы нужны для усиления сигнала



БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ

- **Максимальная рассеиваемая мощность:**
 - Малой мощности (до 300 мВ)
 - Средней мощности (до 1,5 В)
 - Большой мощности (выше 1,5В)
- **Максимальный ток коллектора:**
 - 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
- **Коэффициент усиления по току: β , $\beta_{\text{стат}}$, h_{21}**
 - Указывает, во сколько раз ток коллектора превышает ток базы:

$$I_{\text{к}} = \beta \cdot I_{\text{б}}$$

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРОВ

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРОВ

3 схемы включения транзистора в усилительный каскад:

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

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

СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:

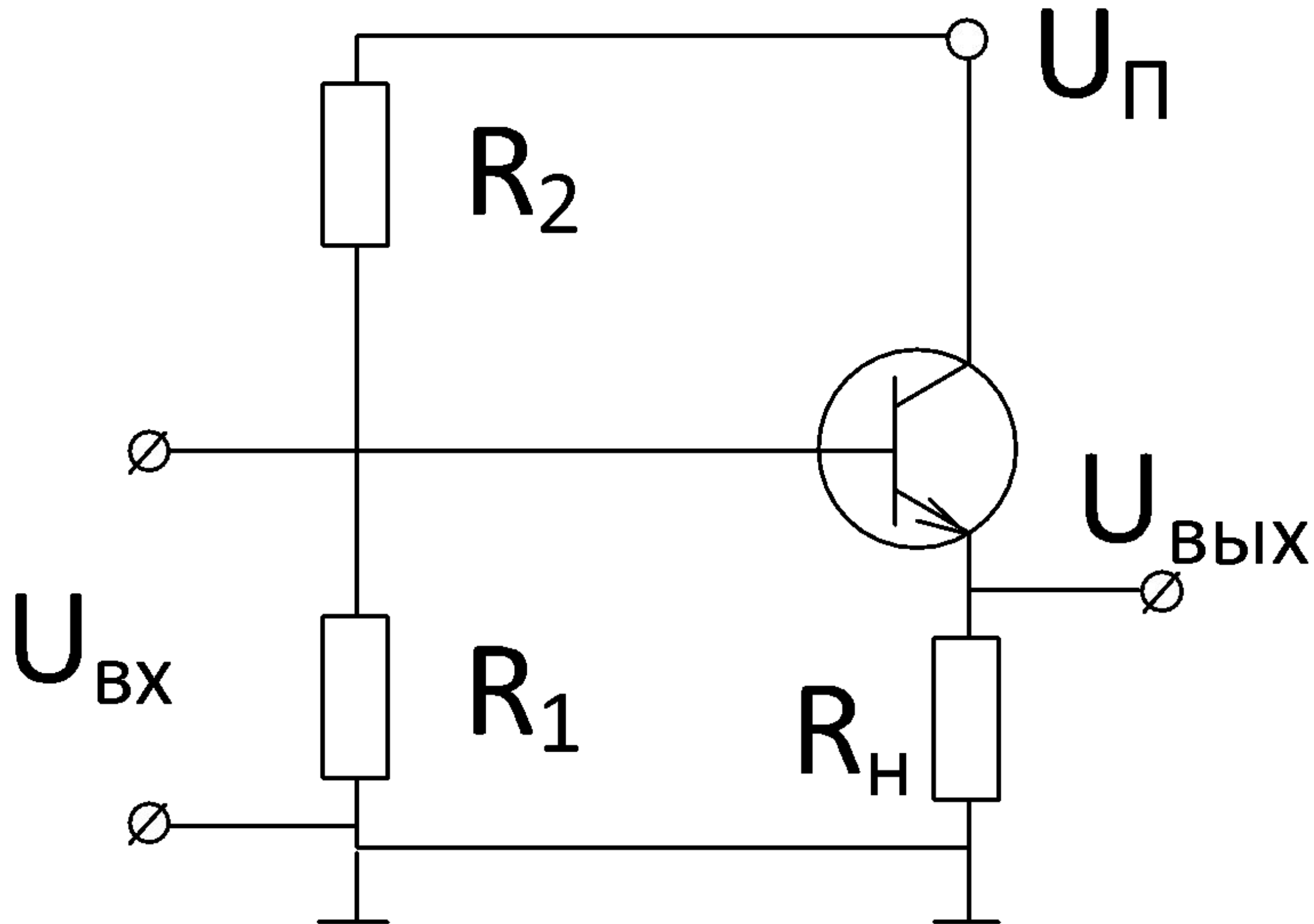
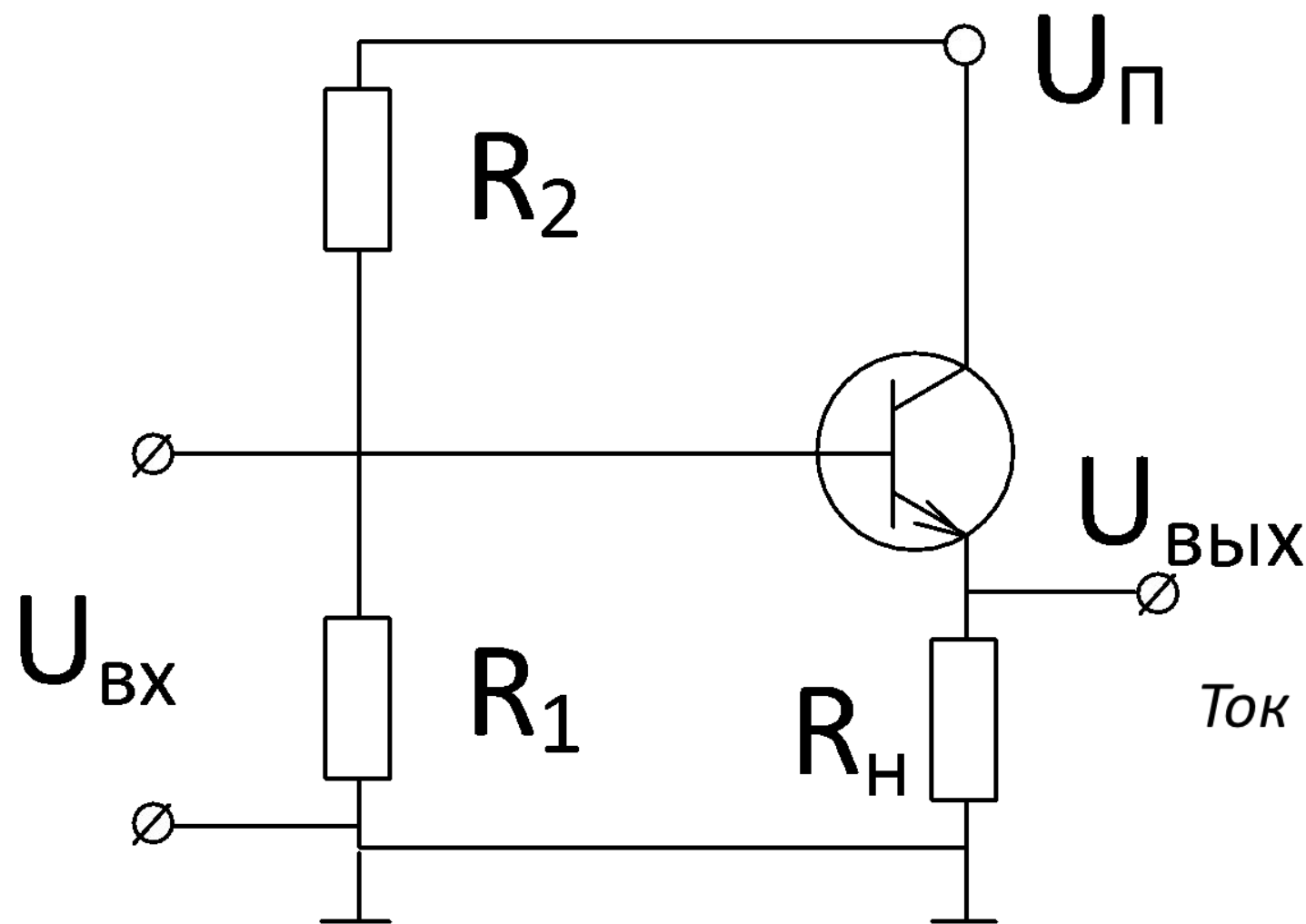


СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:



$$U_{\text{ВХ}} = 10V$$

$$R_1 = R_2 = 1\text{кОм}$$

$$R_{\text{Н}} = 1\text{кОм}$$

Какое напряжение на эмиттере?

$$U_{\text{Э}} = U_{\text{П}}$$

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

$$U_{\text{Э}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{2} - 0,6 = 4,4 \text{ В}$$

Усиливает ток в нагрузке, напряжение $U_{\text{ВХ}}$ примерно повторяет $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} + 0,6$ со смещением

Усиление по напряжению близко к 1, поэтому данный каскад называют

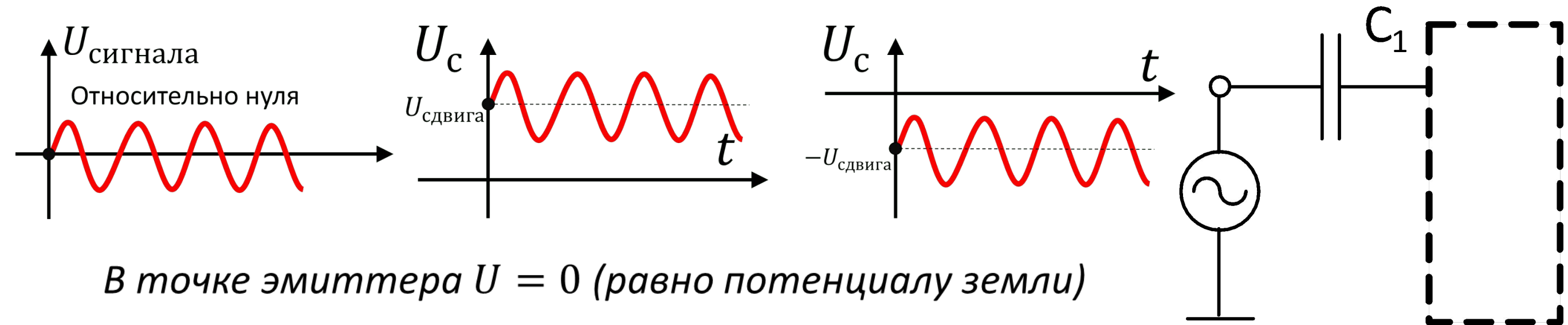
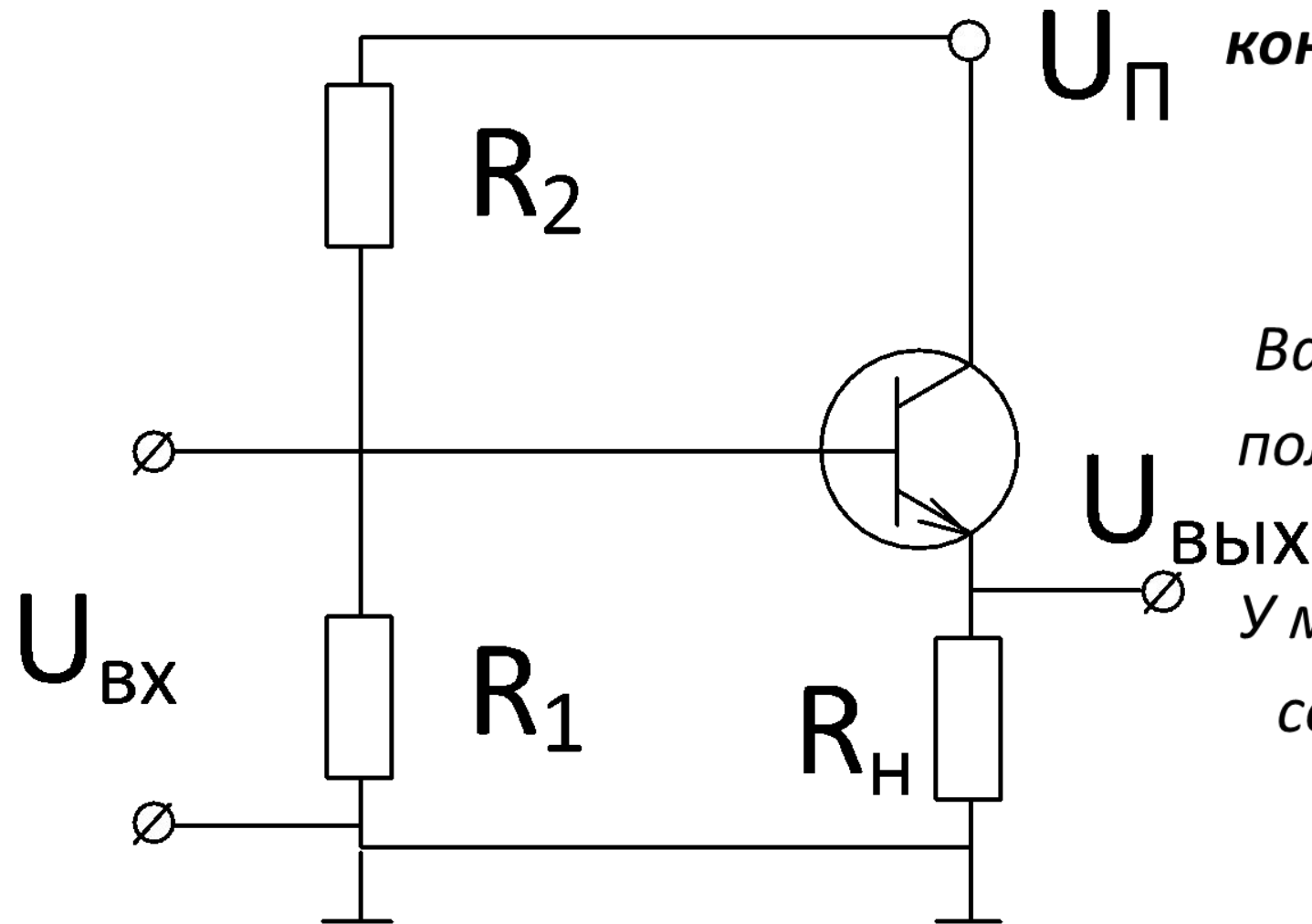
ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ

СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:

На вход ставят **разделительный конденсатор C_1** - развязка повторителя и источника входного сигнала по постоянному току (напряжению)

Варианты сигнала: относительно нуля, положительный и отрицательный сдвиг

У мощного источника напряжения малое сопротивление, которое не влияет на форму сигнала



В точке эмиттера $U = 0$ (равно потенциалу земли)

СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:

Схем

а

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

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.

СХЕМА С ОБЩИМ КОЛЛЕКТОРОМ:

Схем

а

+ 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 $R_{\text{ВЫХ}}$ – НАГРЕВАНИЕ КАСКАДА;

$R_{\text{Н}}$ – ПОЛЕЗНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

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

Эмиттерный повторитель имеет наименьшее из всех выходные 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 «-»)

СХЕМА С ОБЩЕЙ БАЗОЙ:

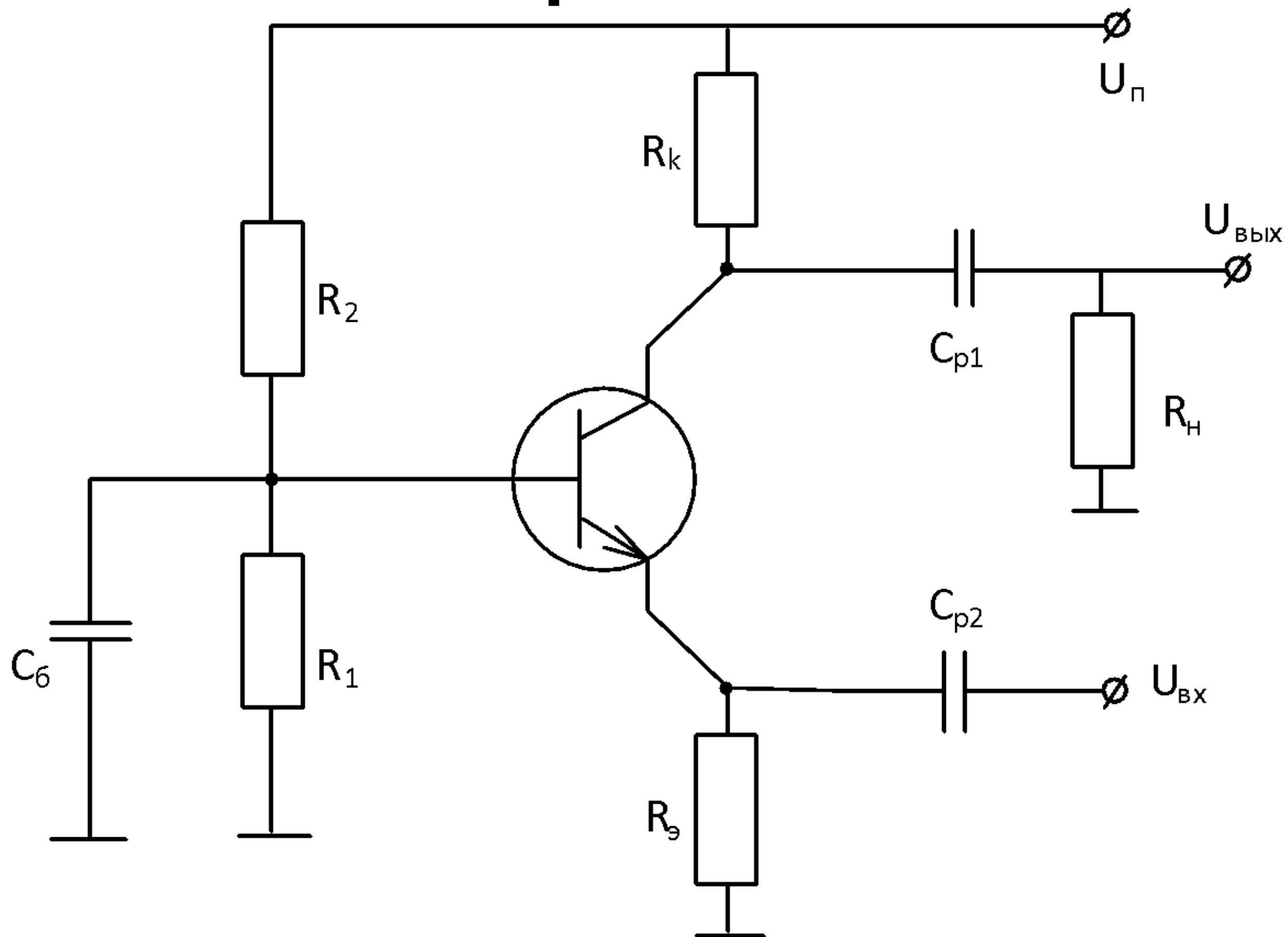
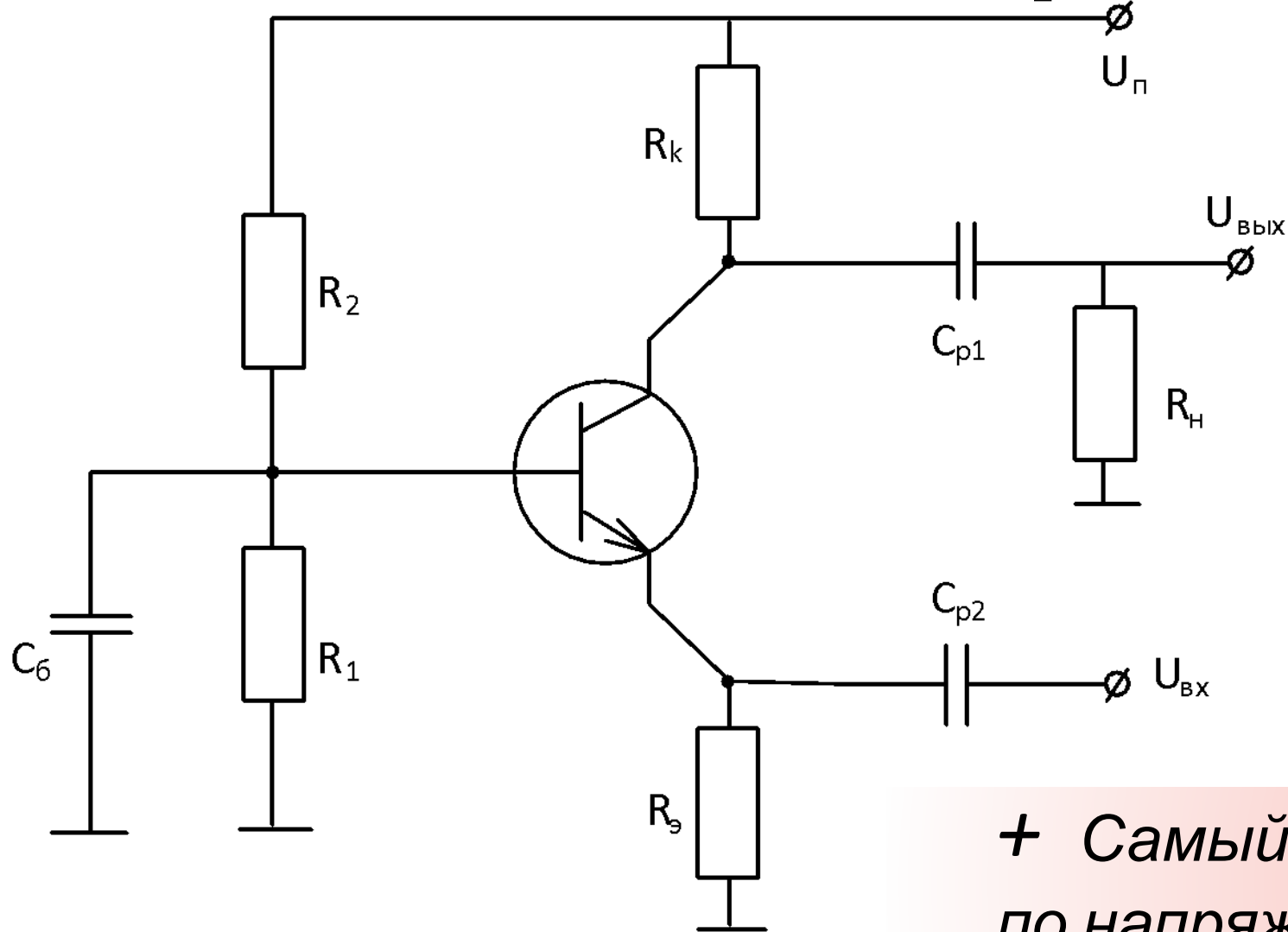


СХЕМА С ОБЩЕЙ БАЗОЙ:



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 коэффициент усиления
по напряжению (до 1000 и выше)

Усиление по току примерно 1

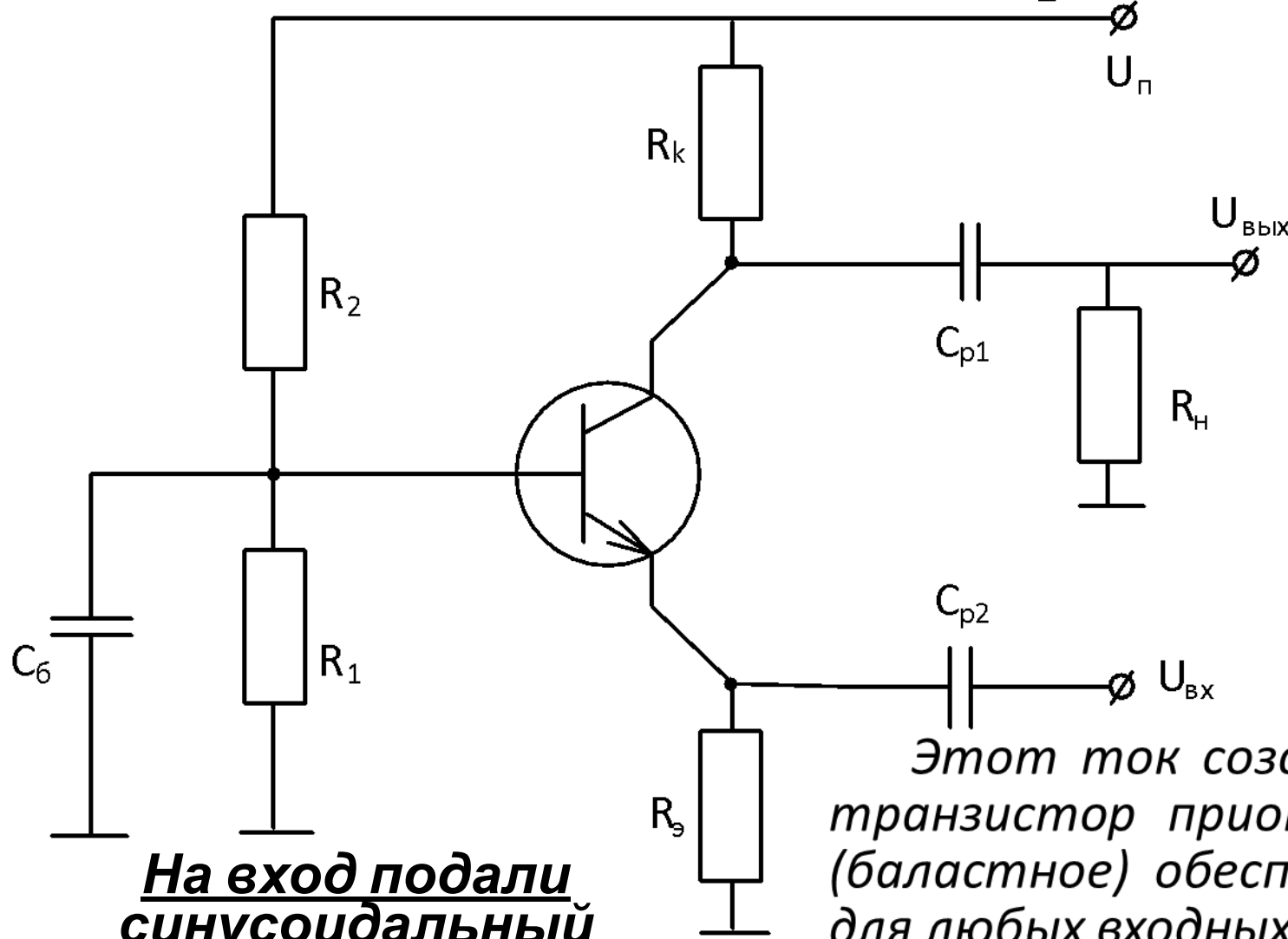
- Плохое входное сопротивление – **НИЗКОЕ**

- Плохое выходное сопротивление – **ВЫСОКОЕ**

Конденсаторы C_{p1} и C_{p2} не обязательно одинаковые, C_p – разделительное

R_H – нагрузка, последующие пользователи

СХЕМА С ОБЩЕЙ БАЗОЙ:



Работа каскада:

Стационарное состояние (отсутствие сигнала):

В 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: $U_б - 0,6 V$.

Этот ток создаёт падение напряжения на $R_к$, в целом транзистор приоткрыт и готов к усилению сигнала. $C_б$ (балластное) обеспечивает неизменное напряжение на базе для любых входных сигналов на $U_{вх}$

На вход подали синусоидальный сигнал:

• Для положительной полуволны:

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 приоткрывается \Rightarrow ток через него \downarrow ,
падение напряжения на $R_к$ \downarrow

Потенциал коллектора \uparrow

Сигнал не инвертируется:

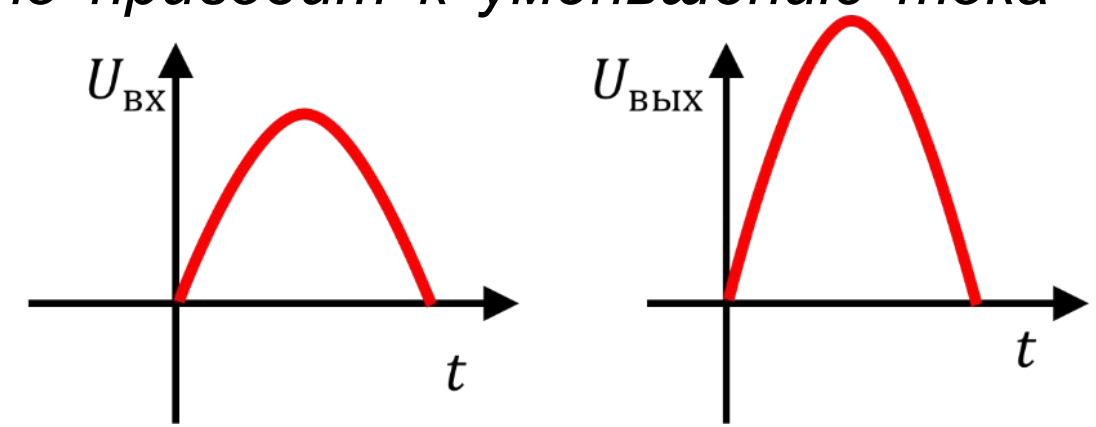
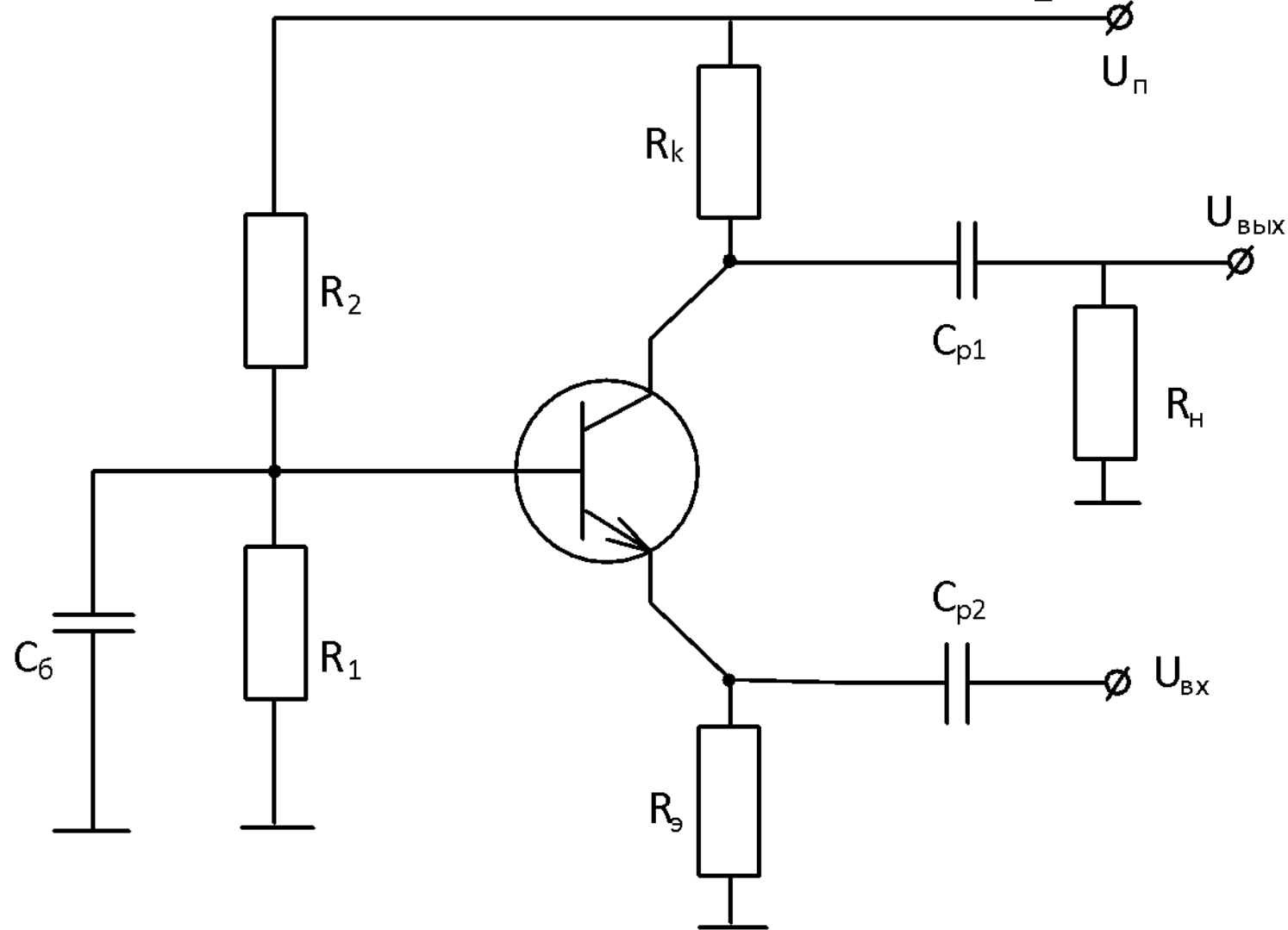


СХЕМА С ОБЩЕЙ БАЗОЙ:



- Для отрицательной полуволны синусоиды:

Она понижает потенциал ЭМИТТЕРА, следовательно \uparrow разность потенциалов между БАЗОЙ и ЭМИТТЕРОМ \Rightarrow ток БАЗЫ \uparrow

Транзистор приоткрывается ощутимо больше

Ток через транзистор $\uparrow \Rightarrow$ падение напряжения на $R_k \uparrow \Rightarrow$ напряжение стало ближе к нулю

Отрицательный сигнал вызывает понижение напряжения на КОЛЛЕКТОРЕ

Сигнал также не инвертируется

СХЕМА С ОБЩЕЙ ЭМИТТЕРОМ:

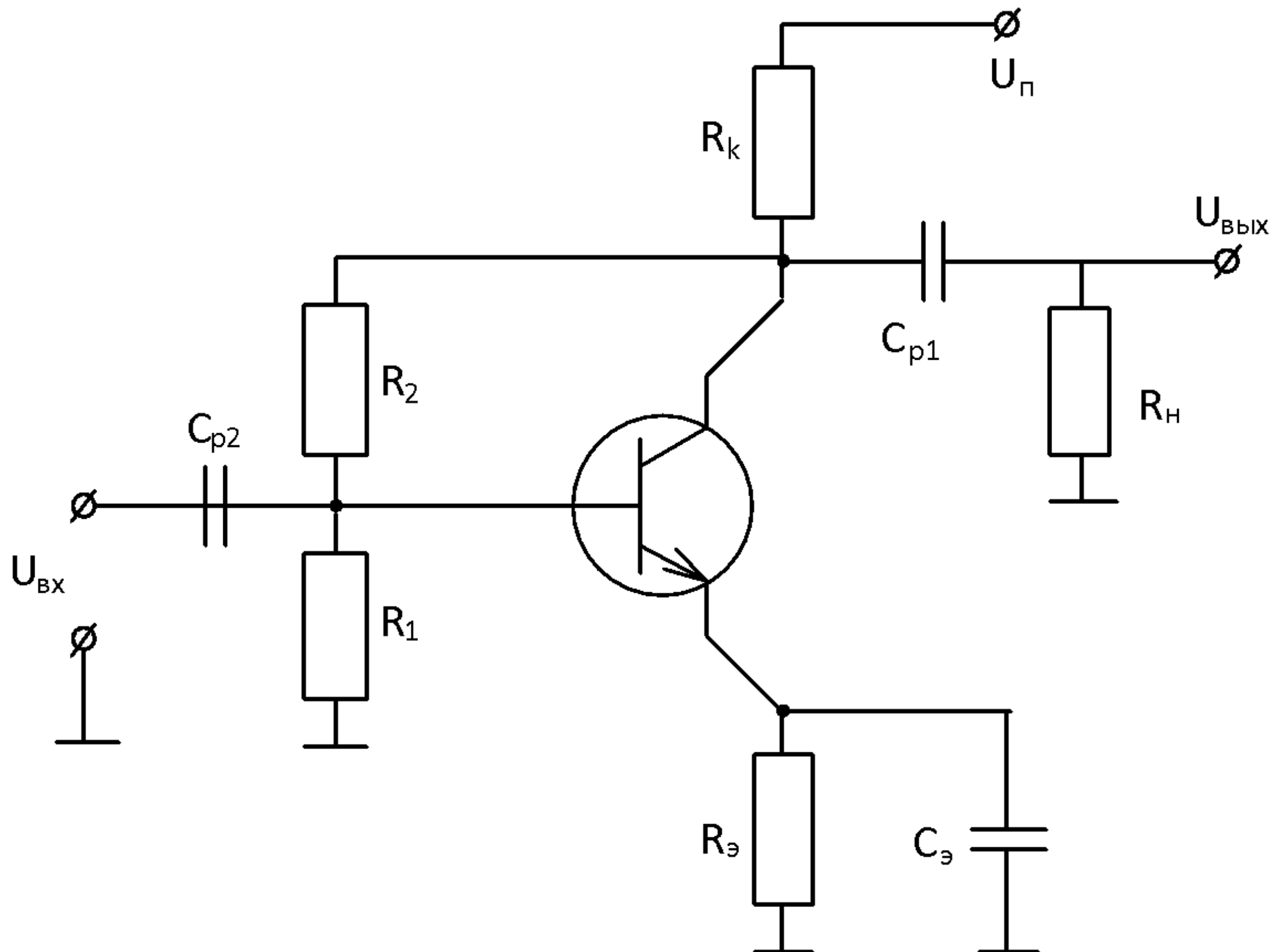
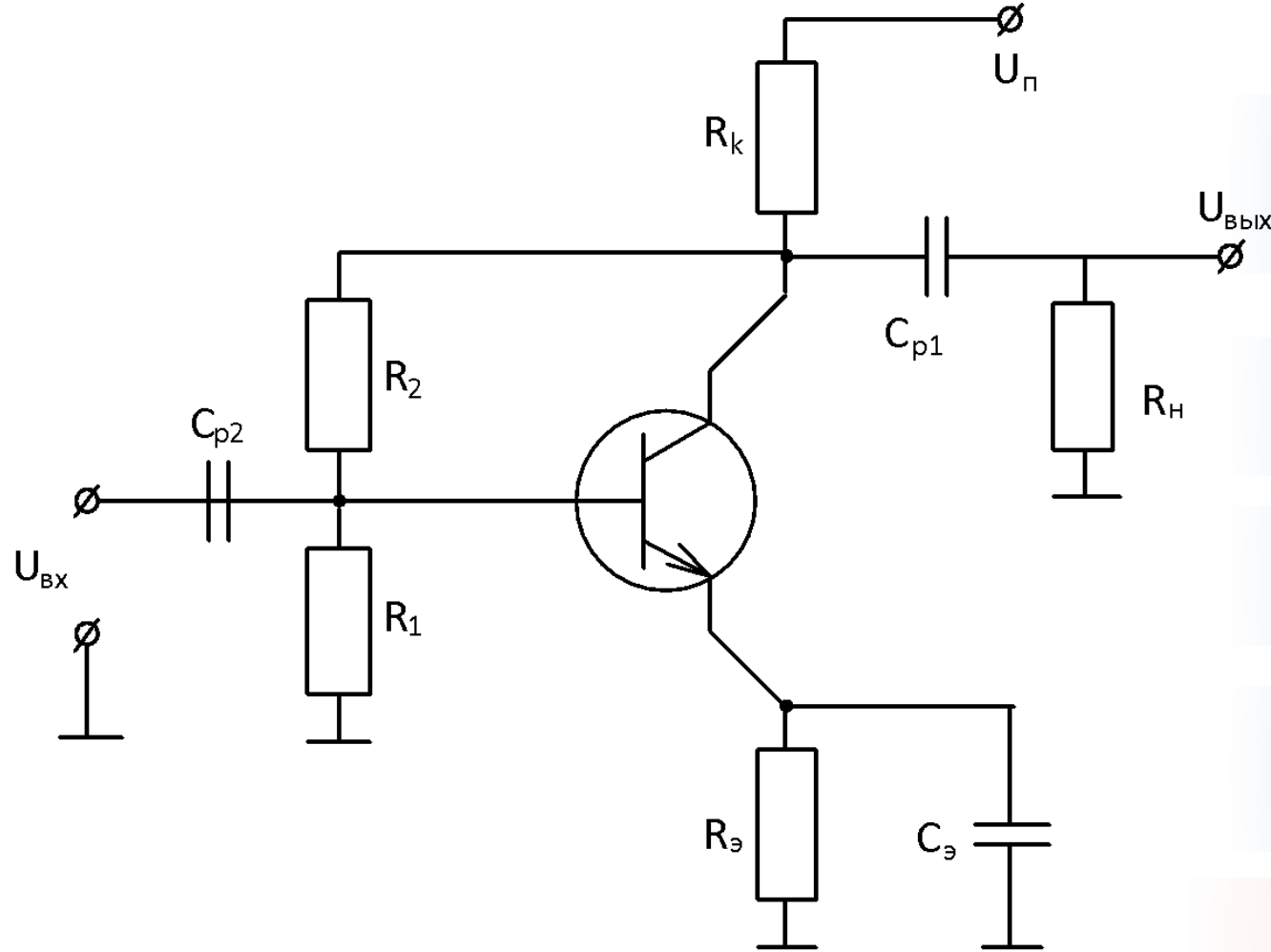


СХЕМА С ОБЩЕЙ ЭМИТТЕРОМ:

Плюсы/Минус



- данный способ включения транзистора обладает меньшим коэффициентом усиления 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

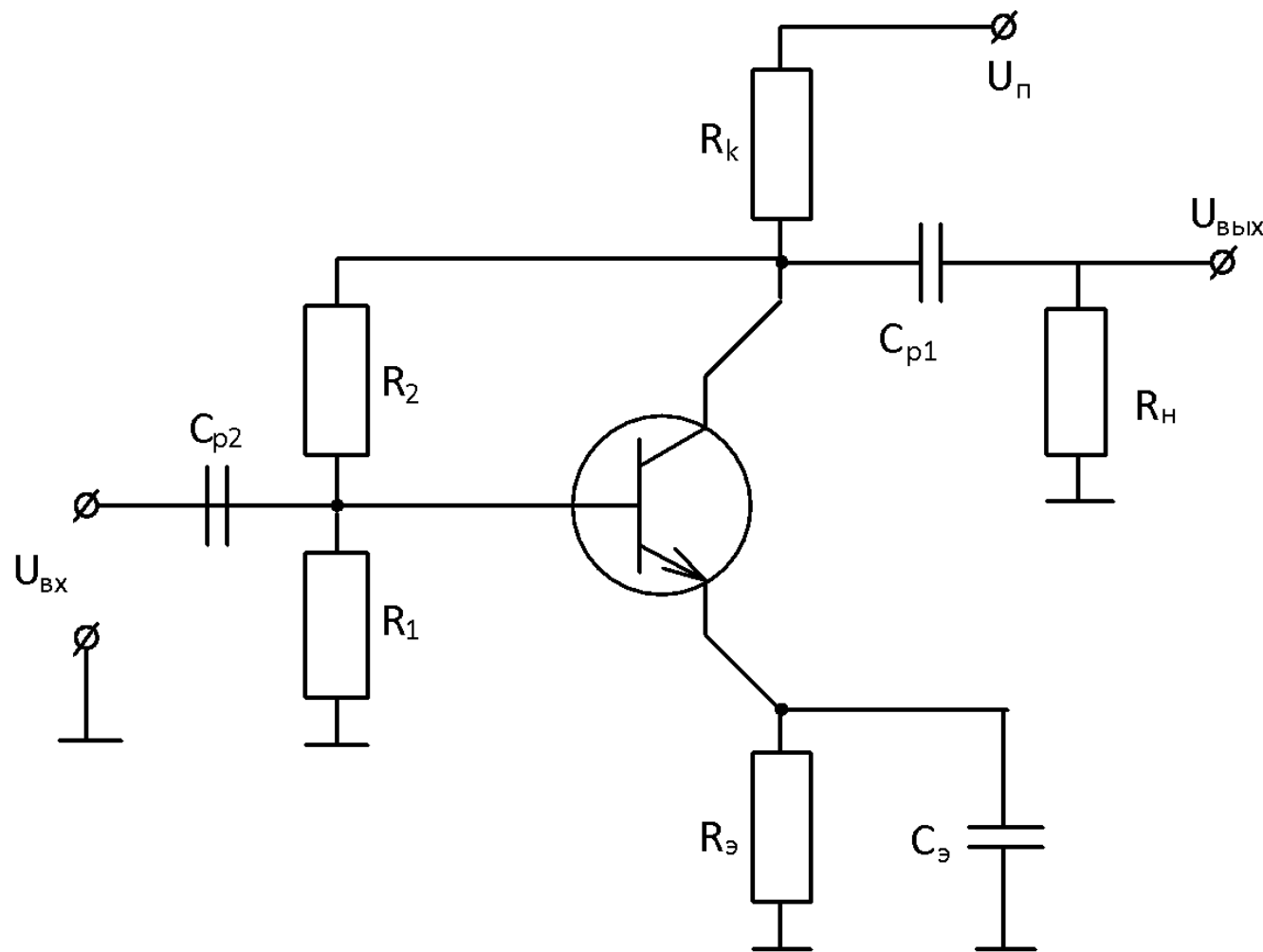
Входное и выходное сопротивления – среднее между ОК и ОБ

Входной сигнал поступает на БАЗУ

Снимается сигнал с КОЛЛЕКТОРА

Входной сигнал в процессе усиления ИНВЕРТИРУЕТСЯ

СХЕМА С ОБЩЕЙ ЭМИТТЕРОМ:

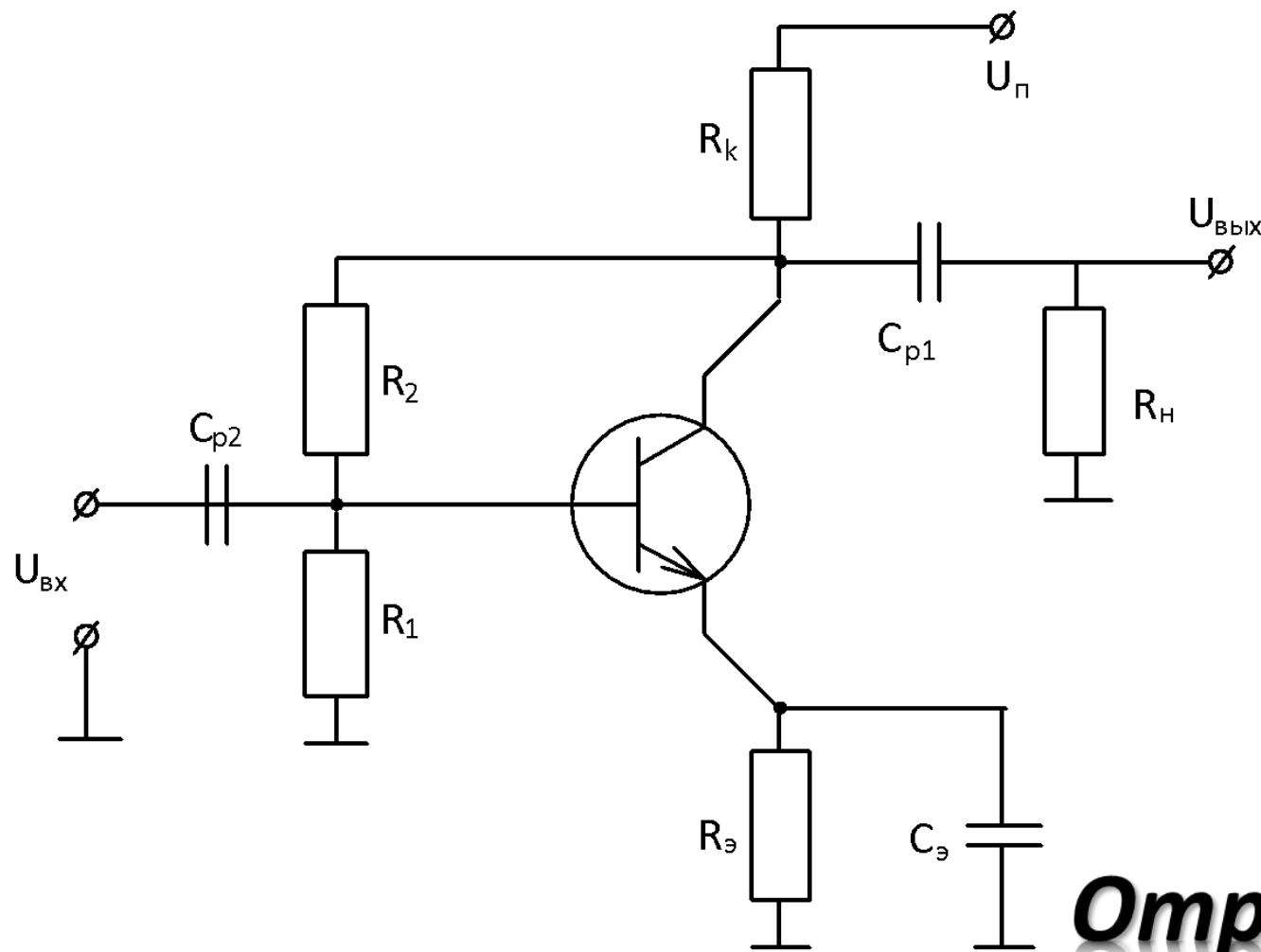


В схеме с общим эмиттером напряжение на ЭМИТТЕРЕ никак не меняется в процессе усиления сигнала. Это достигается за счёт конденсатора $C_э$, который заземляет эмиттер. В ряде схем эмиттер подсоединён к земле, это возможно, хоть и снижает температурную стабильность работы каскада

$R_э$ снижает термическую нестабильность (может отсутствовать). Но чаще в реальных схемах он присутствует, его наличие повышает стабильность работы каскада

$R_э$ 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 $R_э$ включают ДЕМПФИРУЮЩИЙ КОНДЕНСАТОР $C_э$ (исключающий конденсатор: исключает $R_э$ для переменного сигнала), никак не влияя на режим работы транзистора по постоянному току

СХЕМА С ОБЩЕЙ ЭМИТТЕРОМ:



(Конденсаторы на постоянный ток не оказывают влияния)

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

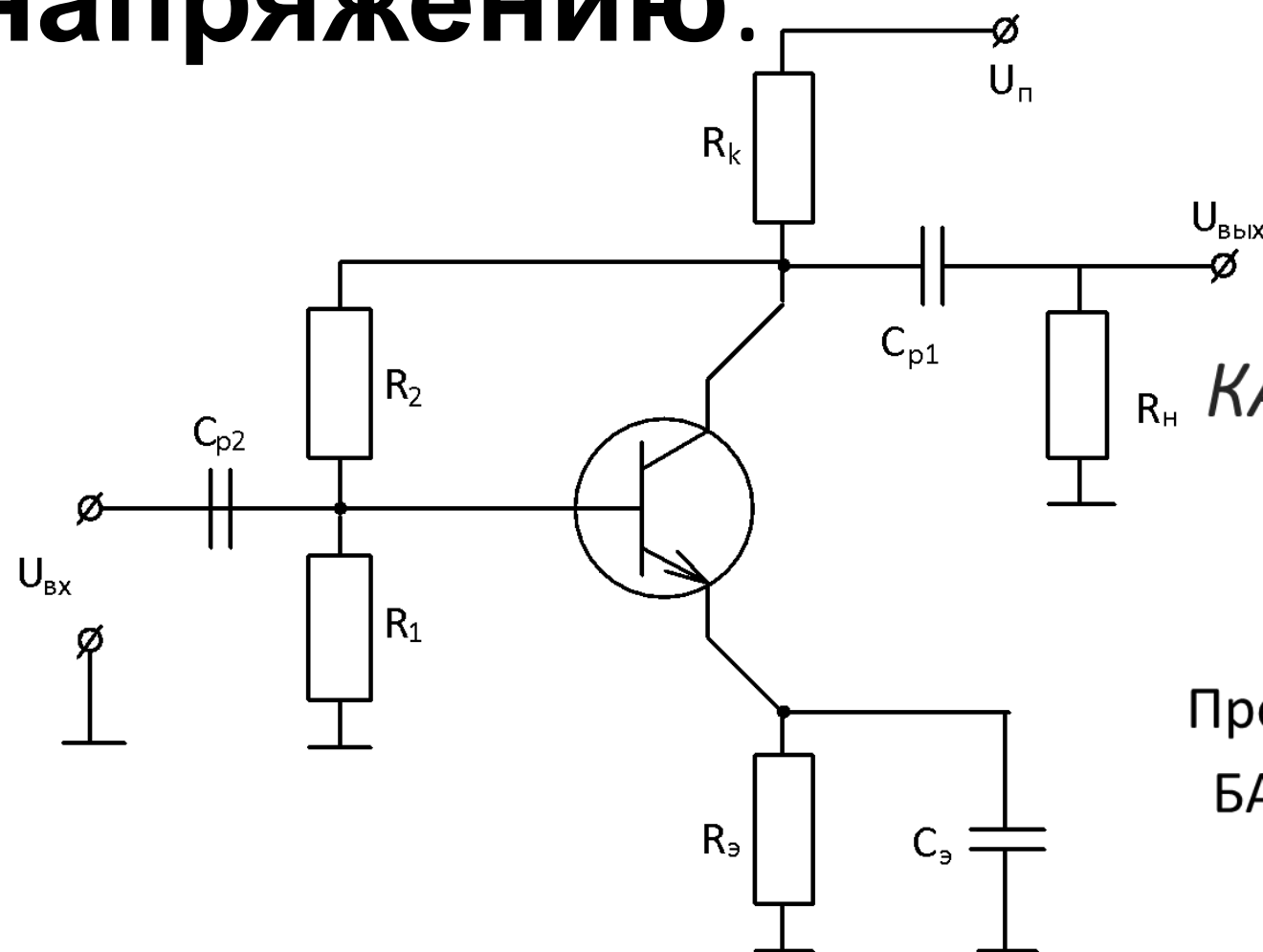
Таким образом $R_э$ не снижает коэффициент усиления для полезного сигнала, так как он закорочен конденсатором $C_э$

Отрицательная обратная связь

ООС по току: если ток через транзистор \uparrow , вследствие этого \uparrow температура окружающей среды, тогда \uparrow падение напряжения на $R_э$, что приводит к \downarrow напряжения $U_{БЭ}$ БАЗЫ-ЭМИТТЕРА \Rightarrow транзистор приоткрывается 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 напряжению:



R_2 не в питание, а в коллектор
(ООС по напряжению там, где R_2)

КАК РАБОТАЕТ ООС ПО НАПРЯЖЕНИЮ?

Выбор не термостабильности, а соответствие,
уменьшение искажений каскада

Предположим, что входной сигнал, действующий на
БАЗУ стал \downarrow по напряжению. Ток через БАЗУ стал \downarrow ,
так как стало $\downarrow U_{БЭ}$

Транзистор стал приоткрываться

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

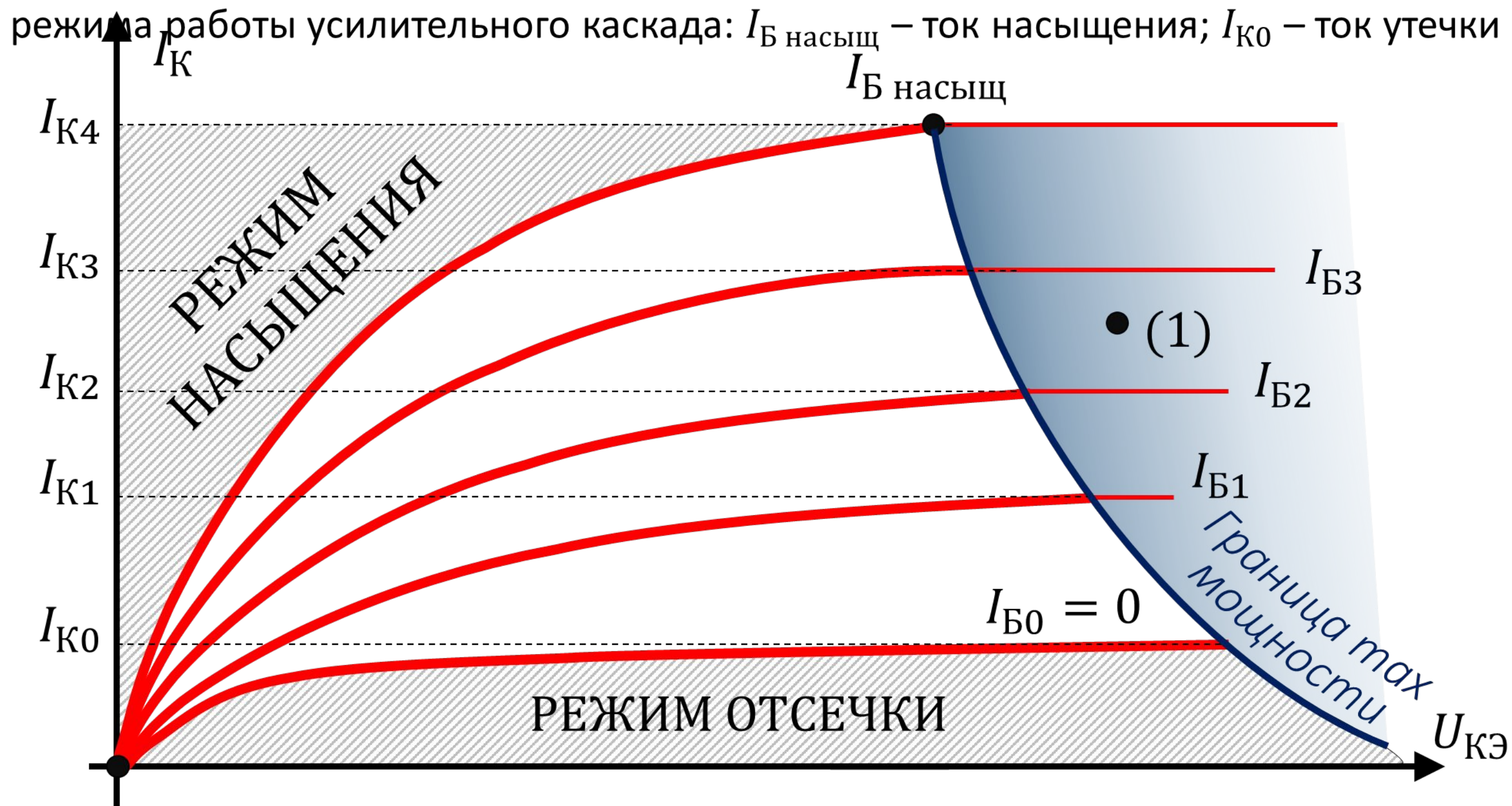
То есть данная ООС приводит к снижению усиления каскада, но при этом
повышается качество усиления, то есть наблюдается меньшее число искажений в
выходном сигнале

Отрицательная обратная связь по напряжению:

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 режима работы усилительного каскада: $I_{Б\text{ насыщ}}$ – ток насыщения; $I_{К0}$ – ток утечки



Отрицательная обратная связь по

напряжению:

Режим

Ы После 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 **РАДИАТОР**, который будет отнимать тепло, граница P_{max} будет смещена вправо. На мощные транзисторы можно ставить радиаторы.

Правее P_{max} – границы произведения I_K и $U_{КЭ}$: 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

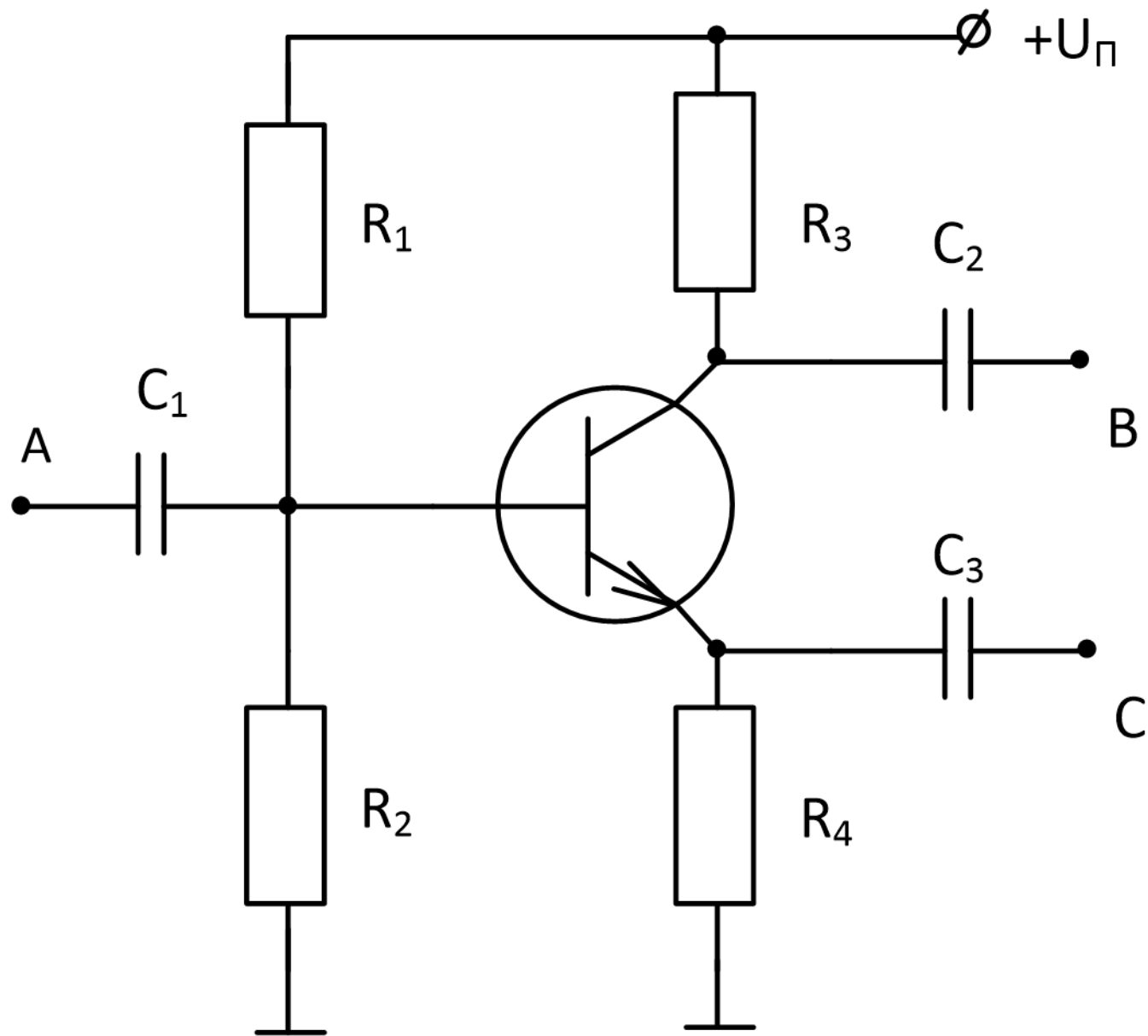


Схема вкл-я Точки	ОК	ОБ	ОЭ
A	ВХ	⊥	ВХ
B	⊥	ВЫХ	ВЫХ
C	ВЫХ	ВХ	⊥

Сравнение схем

Схема	R, кОм		Коэффициенты усиления		
	Входное	Выходное			
ОЭ	>10	2..20	>10..100	>10..100	<10 000
ОК	>100	>1	>10..100		>10
ОБ	<0.1	>100		>10..100	>10

СОСТАВНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

СОСТАВНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Схемы Дарлингтона и Шиклаи

ГЛАВНОЕ ДОСТОИНСТВО: высокий коэффициент усиления по току β
статическое

$$\beta_{\text{СОСТ.ТР}}^{\text{СТАТ}} = \beta_{\text{ТР 1}}^{\text{СТАТ}} \cdot \beta_{\text{ТР 2}}^{\text{СТАТ}}$$

+ 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:

Схема Дарлингтона строится на транзисторах одной проводимости

(pnp-pnp / npn-pnp)

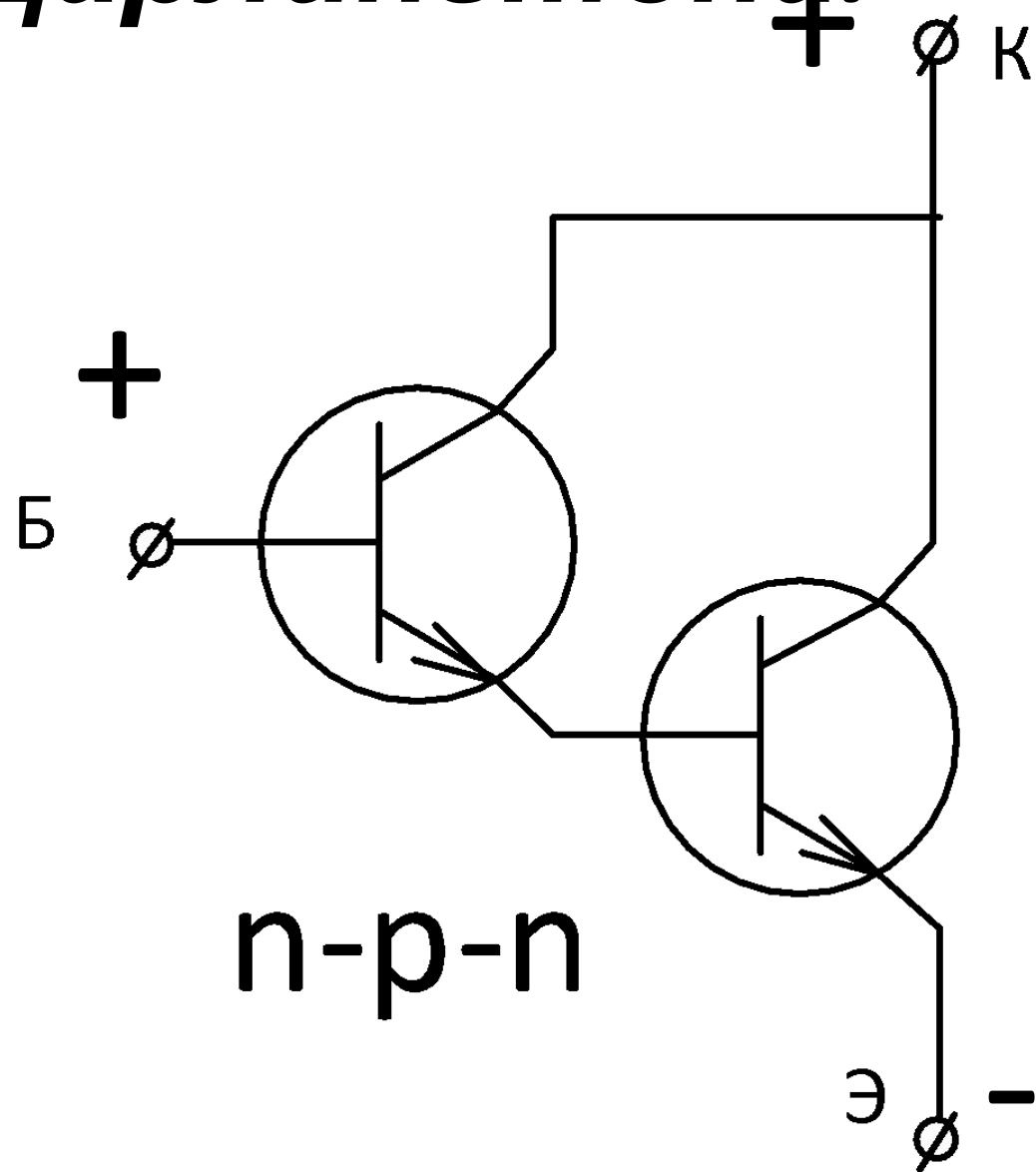
Схема Шиклаи строится на транзисторах разной проводимости

(pnp-npn / npn-pnp)

СОСТАВНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

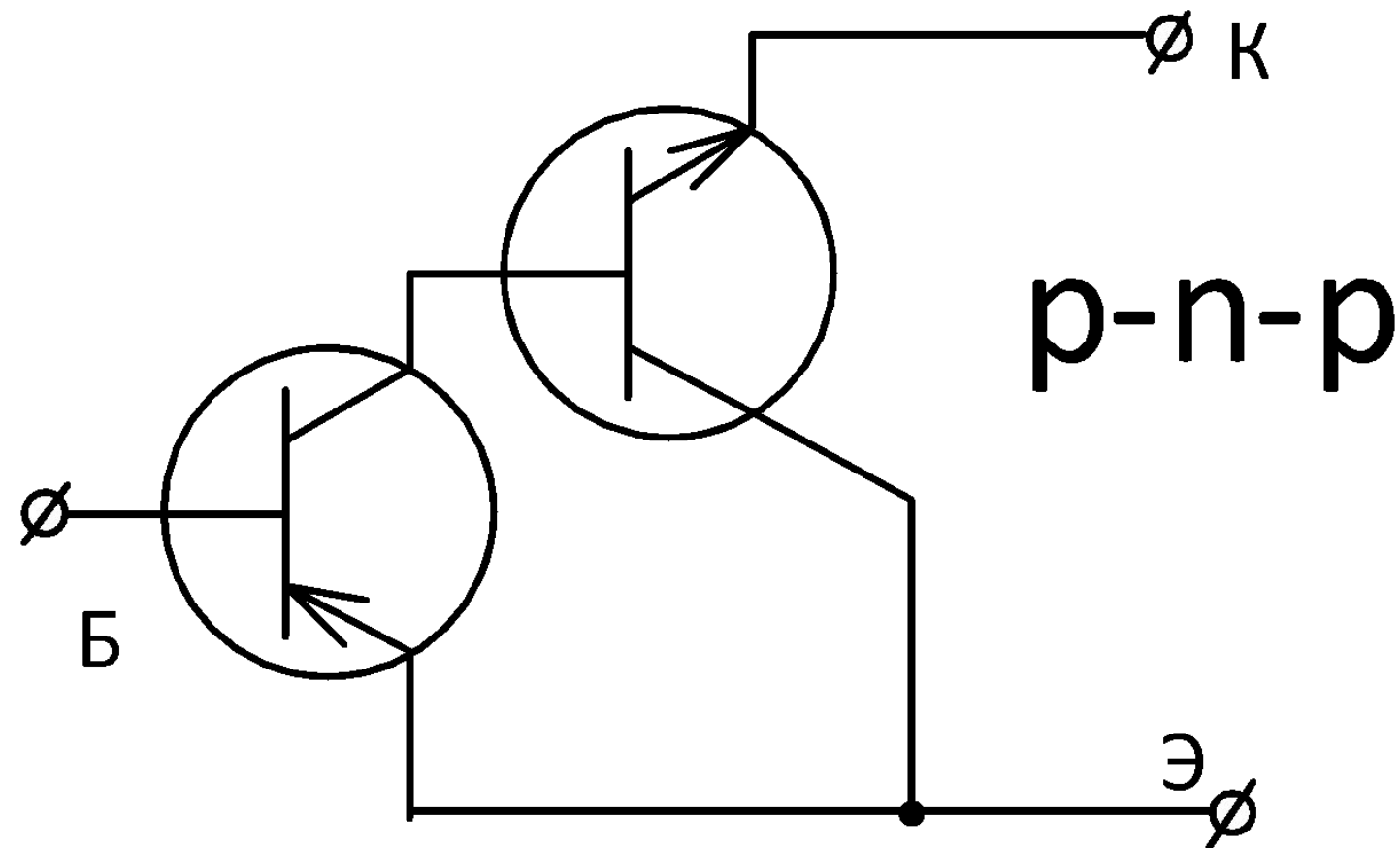
Схема

Дарлингтона:



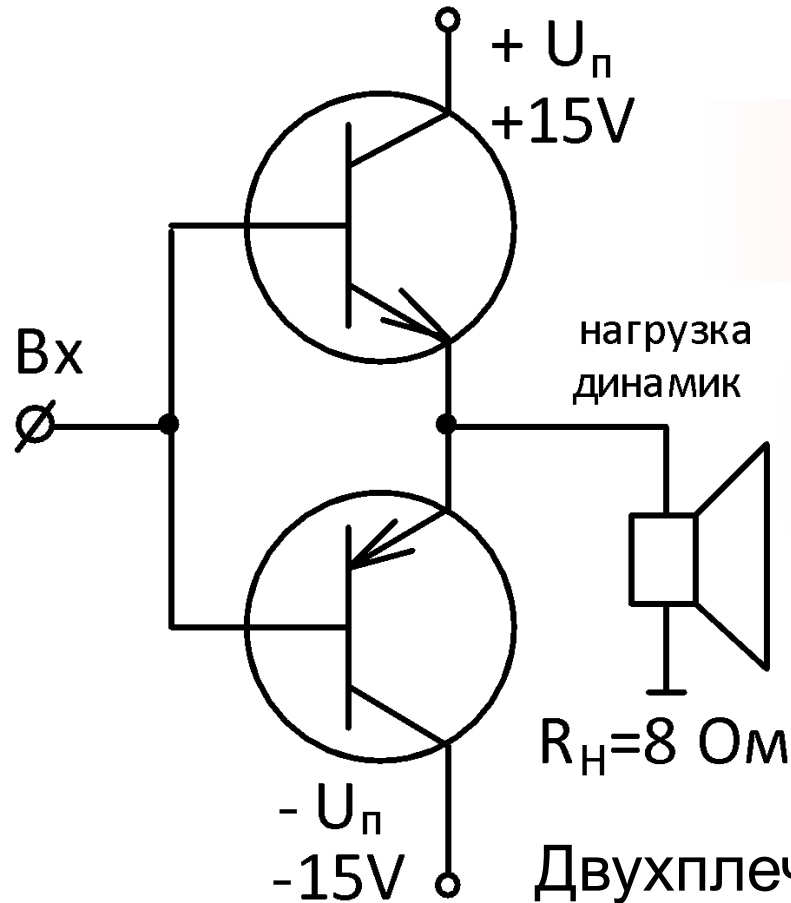
Схема

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

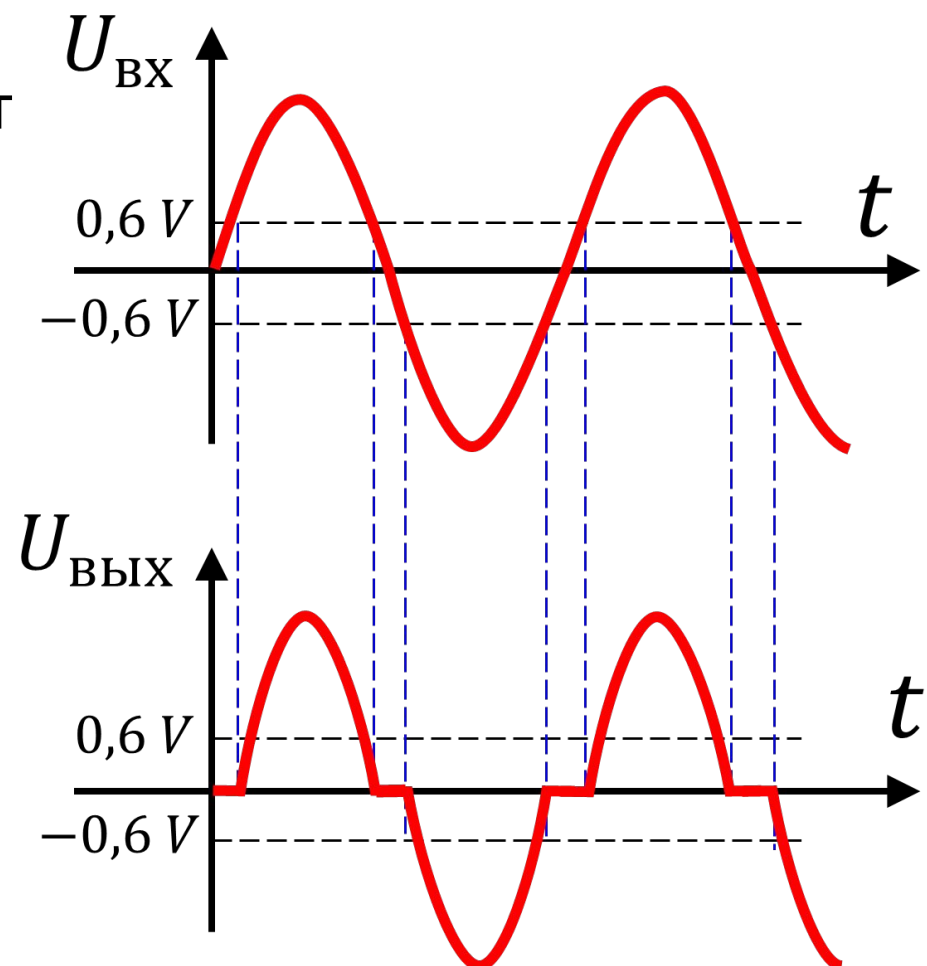
Двухплечевая схема, в ней присутствует «верхнее плечо» и «нижнее». Верхний транзистор («верхнее плечо») усиливает положительную часть синусоиды, нижний транзистор – «нижнее плечо» усиливает отрицательную часть синусоиды

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

На выходе будет прямая линия (выглядит как длинная ступенька)

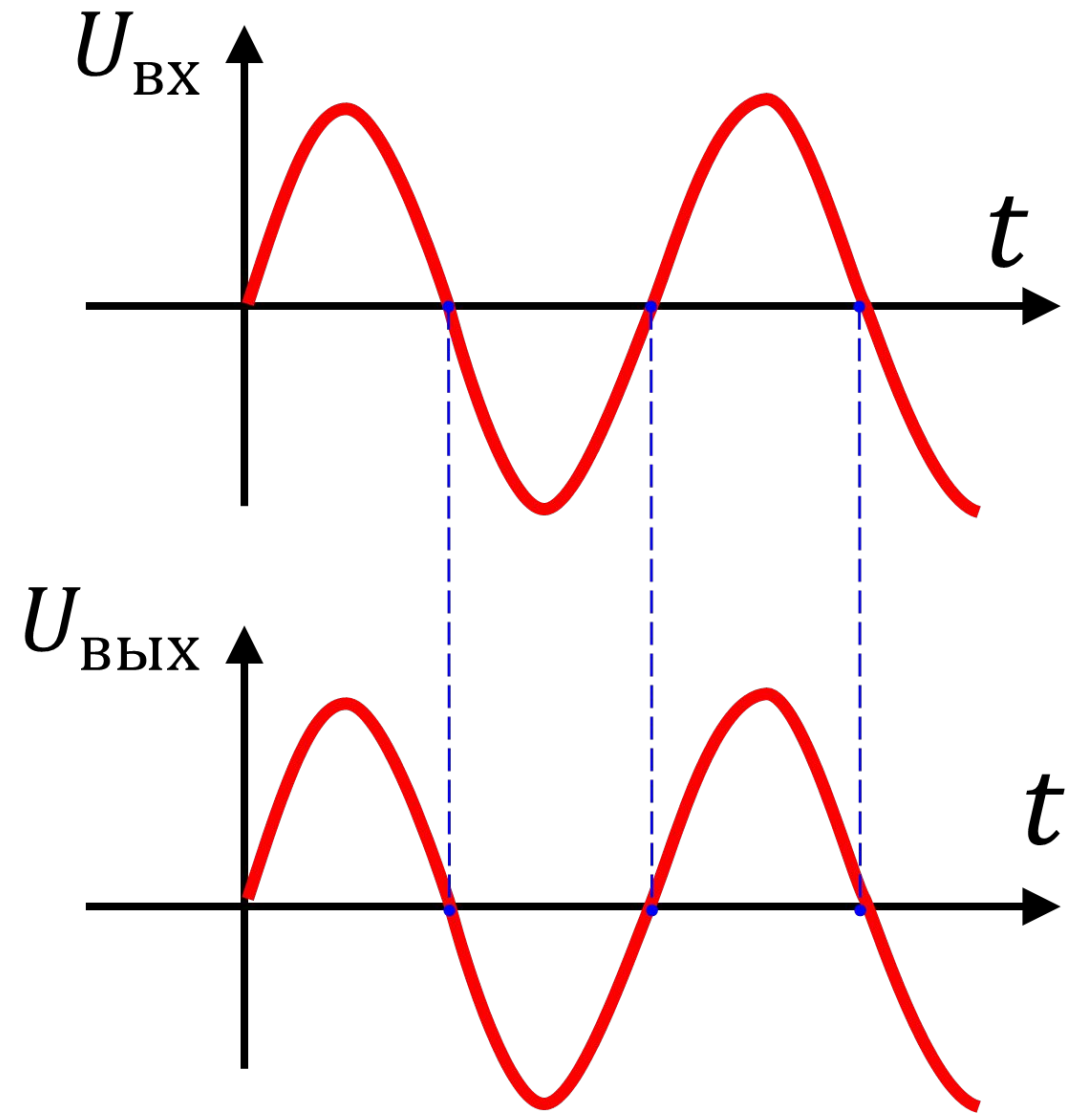
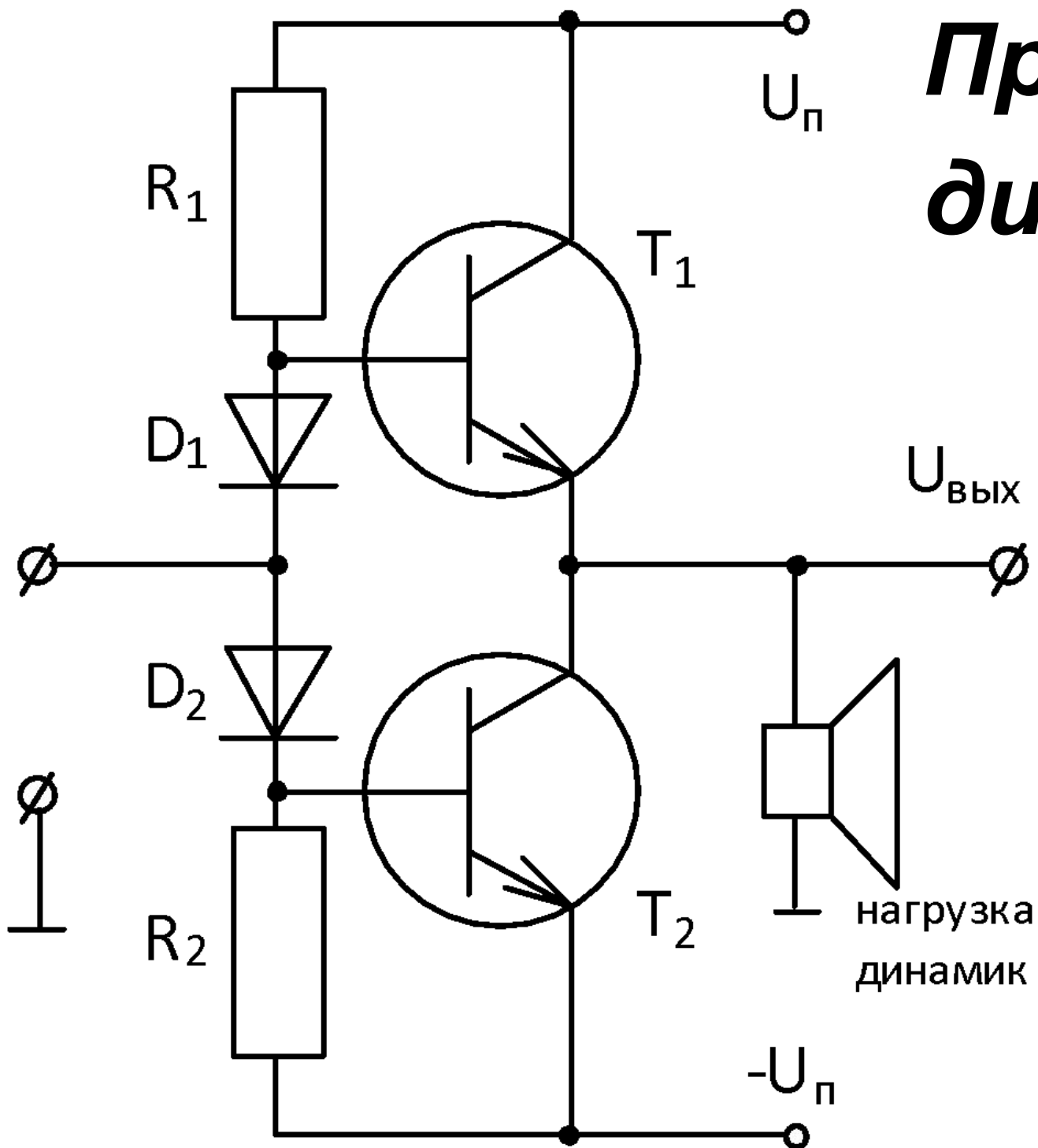
Это придаёт звуку хриплость и **роботоподобность**

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



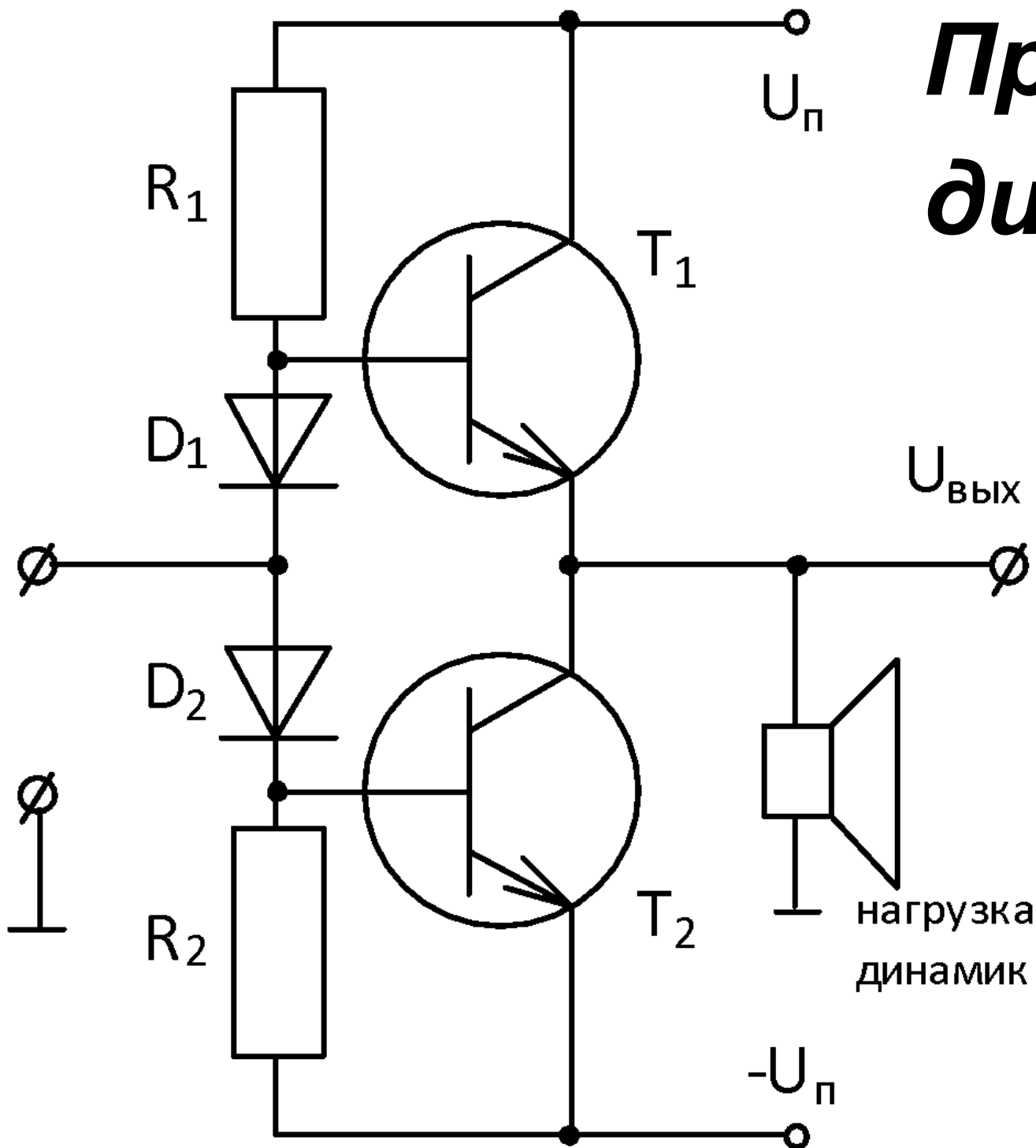
МЕТОД «БОРЬБЫ» С ИСКАЖЕНИЯМИ: ПРОСТОЙ СПОСОБ

При помощи двух диодов



МЕТОД «БОРЬБЫ» С ИСКАЖЕНИЯМИ: ПРОСТОЙ СПОСОБ

При помощи двух диодов



В предыдущей схеме 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 нулю. 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.

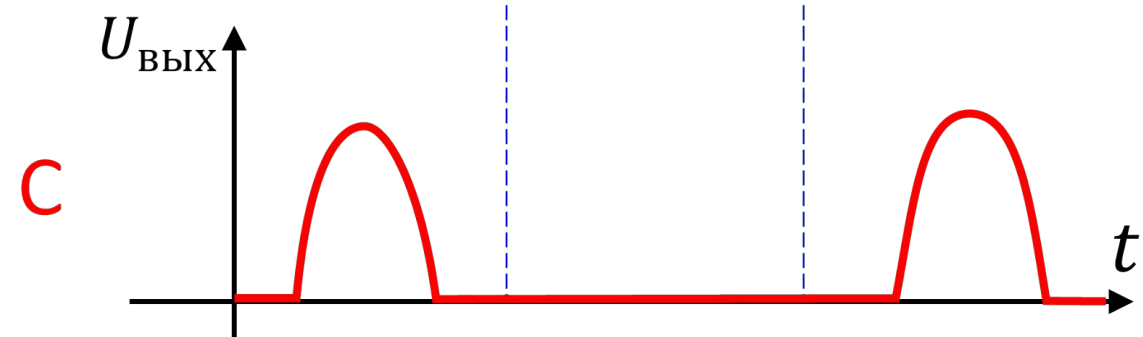
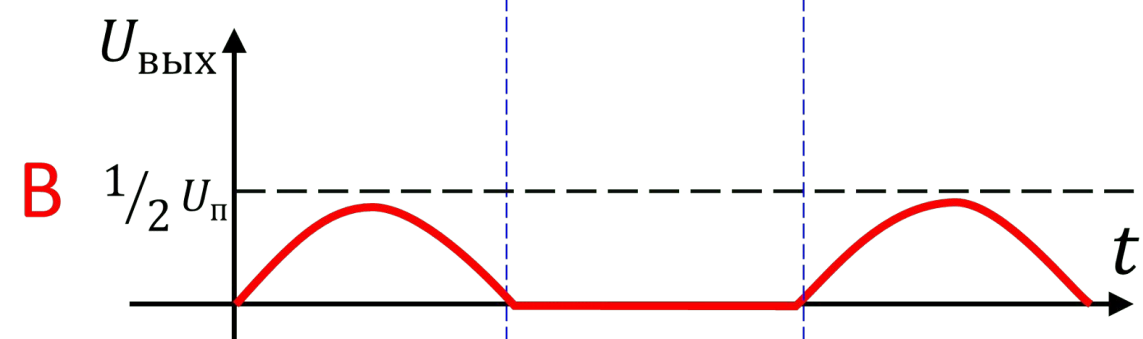
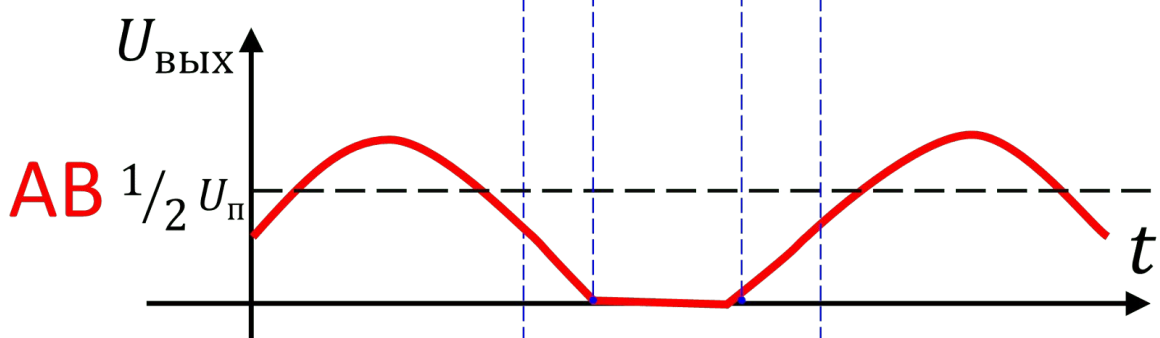
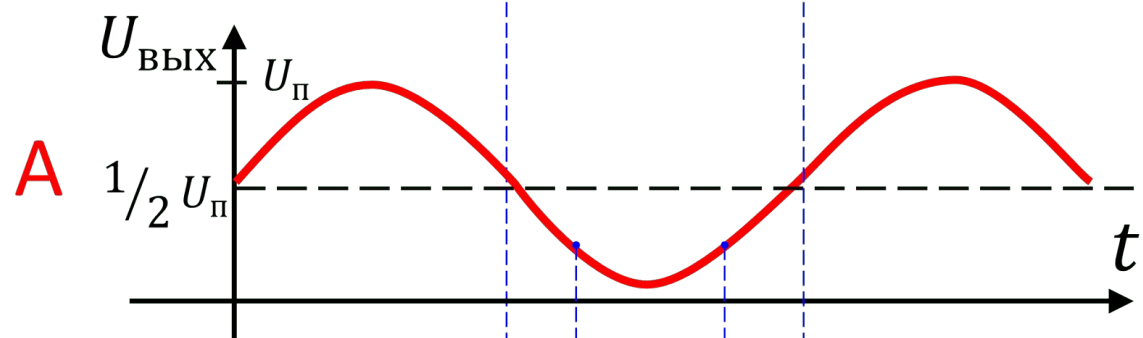
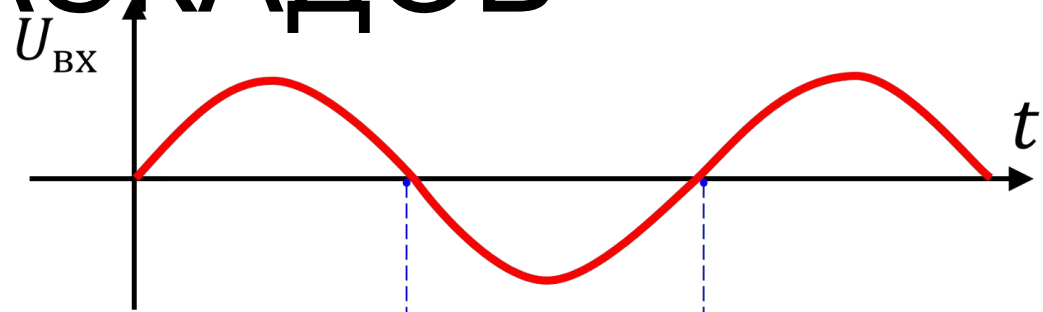
За счёт падения напряжения на D_1 при малейшем изменении входного сигнала в сторону «+» или «-» происходит открытие транзистора, и усиленный по току и мощности входной сигнал сразу появляется на нагрузке.

В данной схеме отсутствует искажение типа «ступенька»

- 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 КАСКАДОВ



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%)

РЕЖИМ АВ: промежуточный между **A** и **B**, наличие небольшого тока покоя

- понижает КПД до 40-50%

+ заметно снижает нелинейные искажения

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

+ высокий КПД (78%) ток покоя =0 в отличие от **A**

- относительно высокие искажения, даже при использовании двух плечей, поэтому в реальных схемах чаще используют режим **AB**

РЕЖИМ С:

+ Имеет высокий КПД

- Высокий коэффициент гармонии

- Сильные искажения

нагрузка – резонансный контур

РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

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

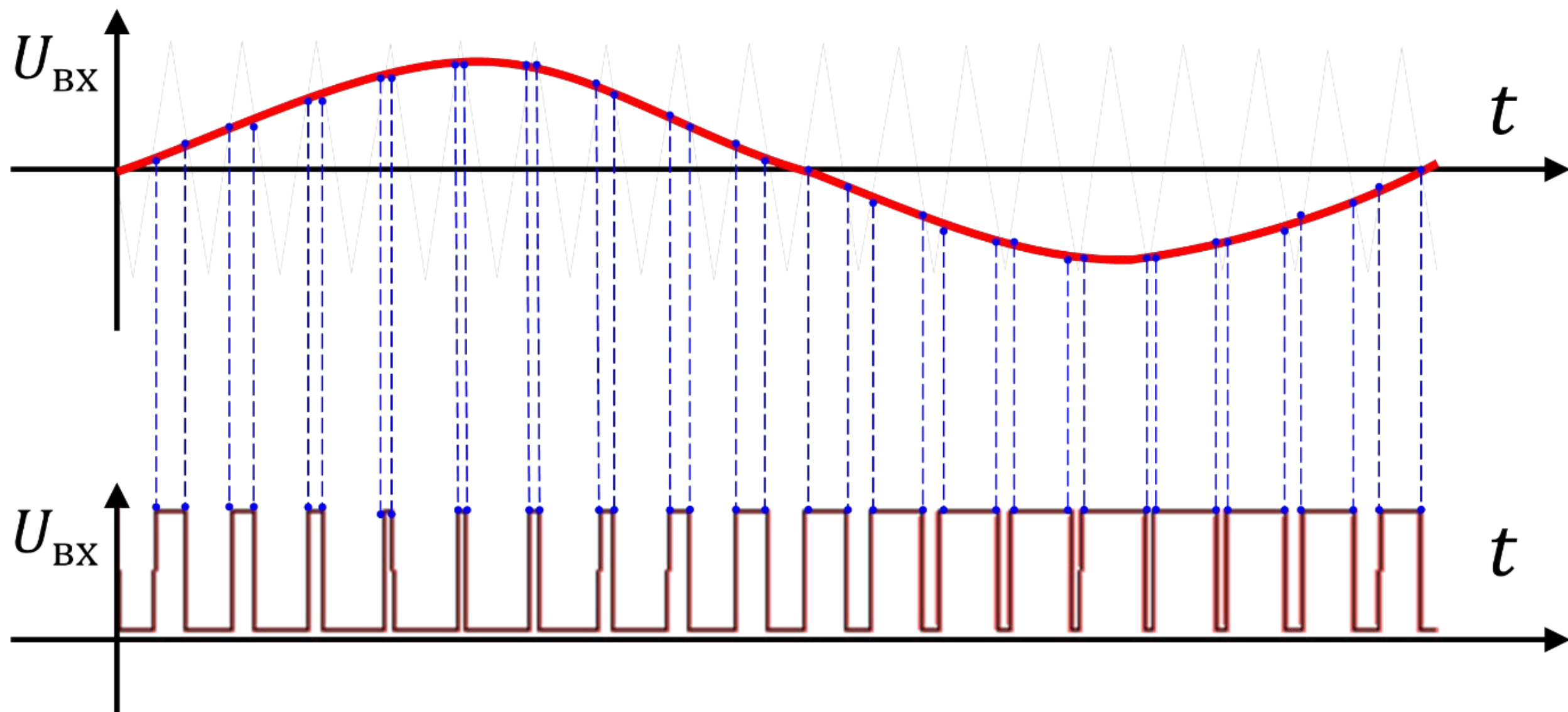
$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1}$$

, где U_1 (основная), U_2, U_3, \dots – спектральные составляющие в спектре выходного сигнала

$$K_{\Gamma} = \frac{K_{\text{НИ}}}{\sqrt{1 + K_{\text{НИ}}^2}}$$

, где $K_{\text{НИ}}$ – коэффициент нелинейных искажений

РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ



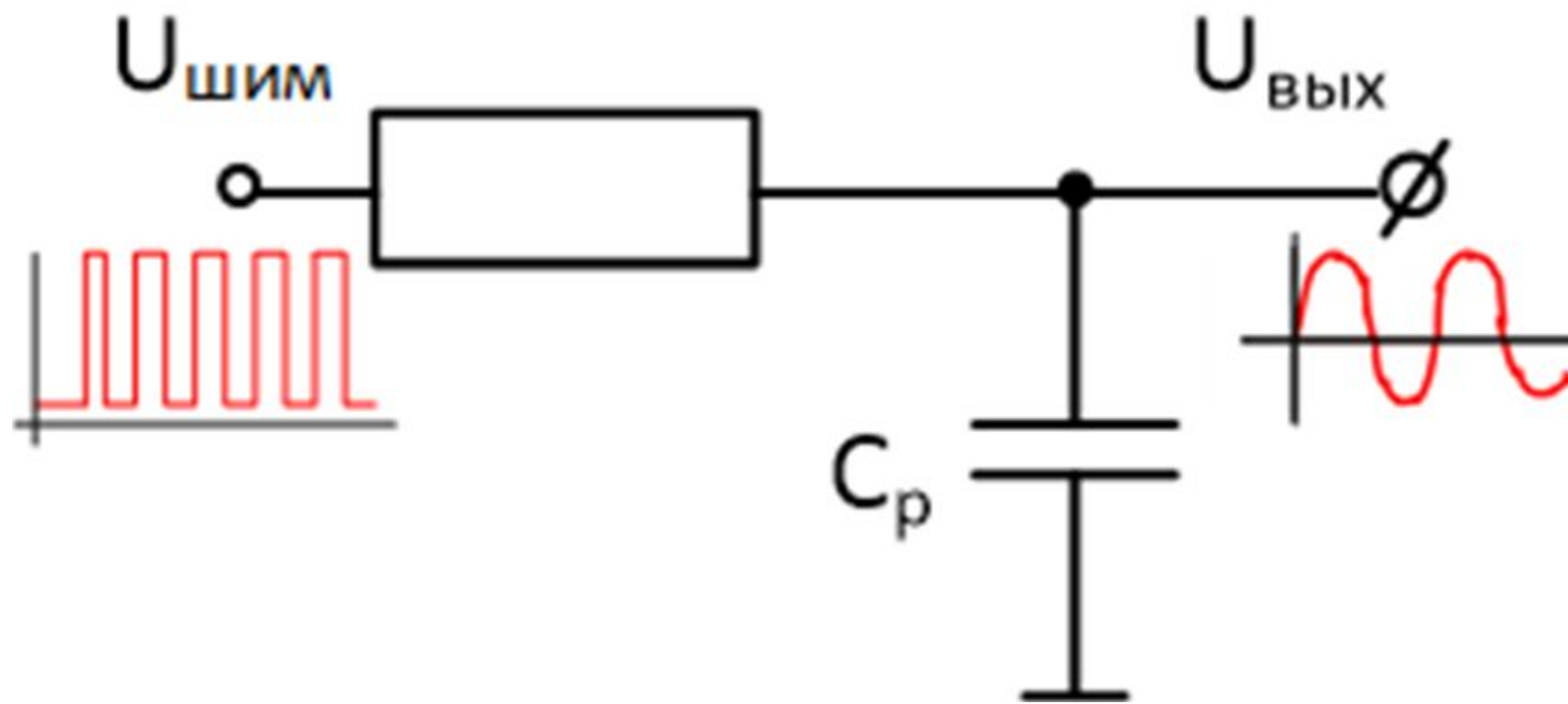
Сигнал сначала преобразуется, потом используя фильтр получаем необходимый результат

+ Высокий КПД

+ Низкий коэффициент гармонии



РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ



Интегрирующий фильтр: позволяет строить мощные каскады с нормальными, приемлемыми искажениями