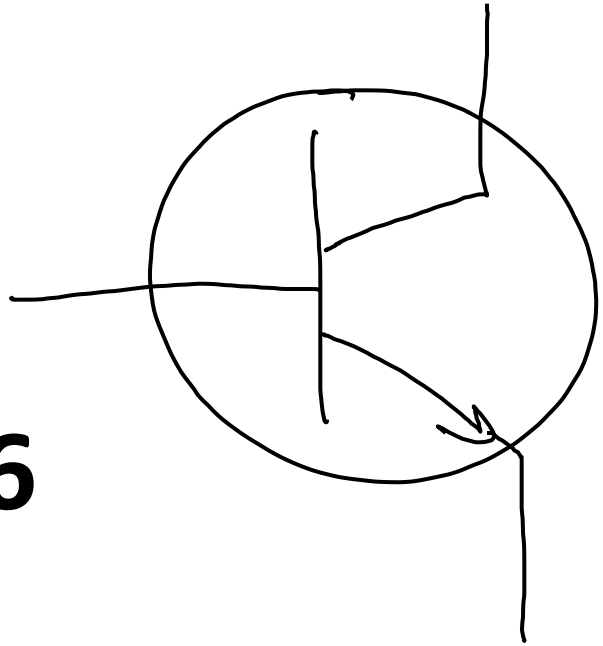
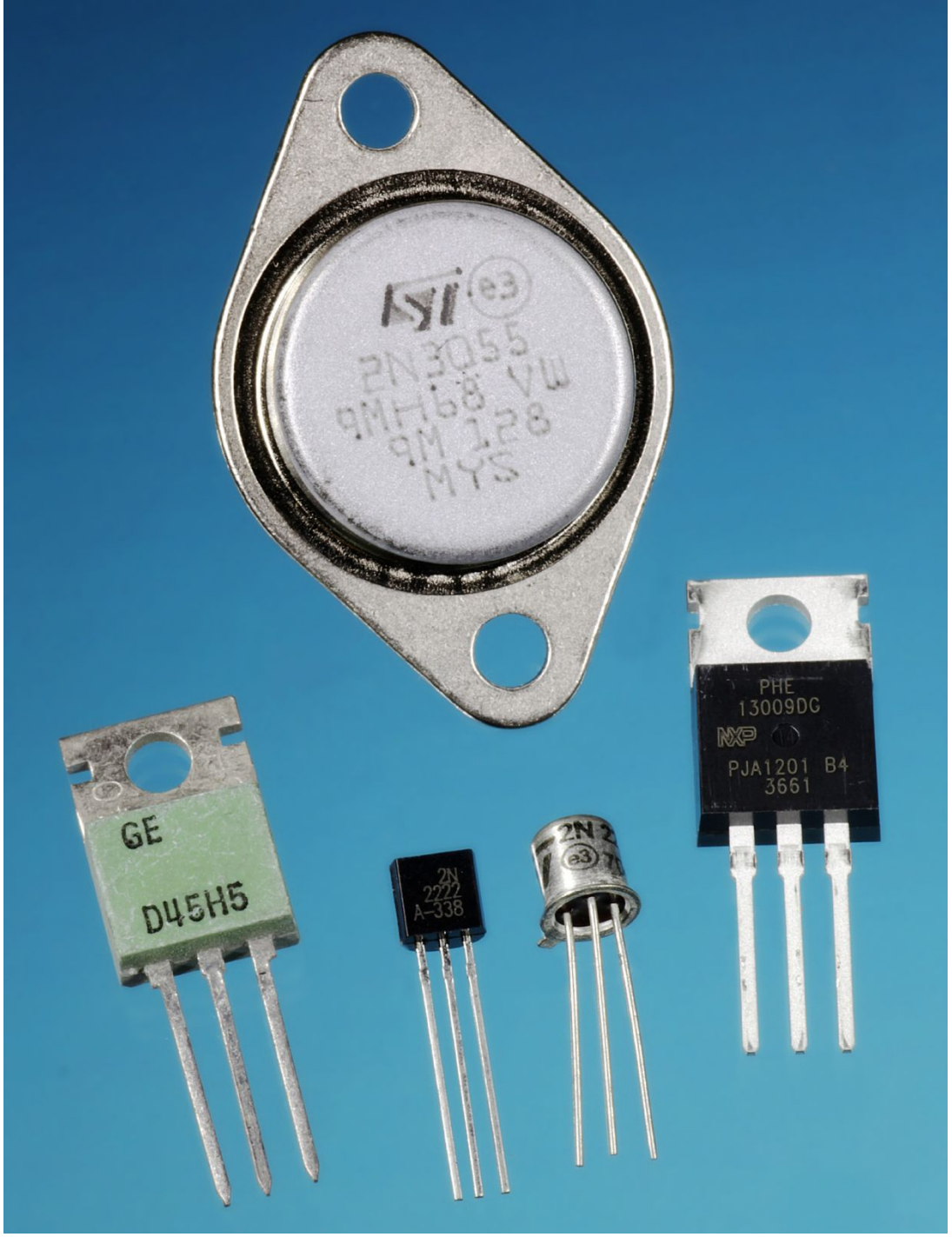
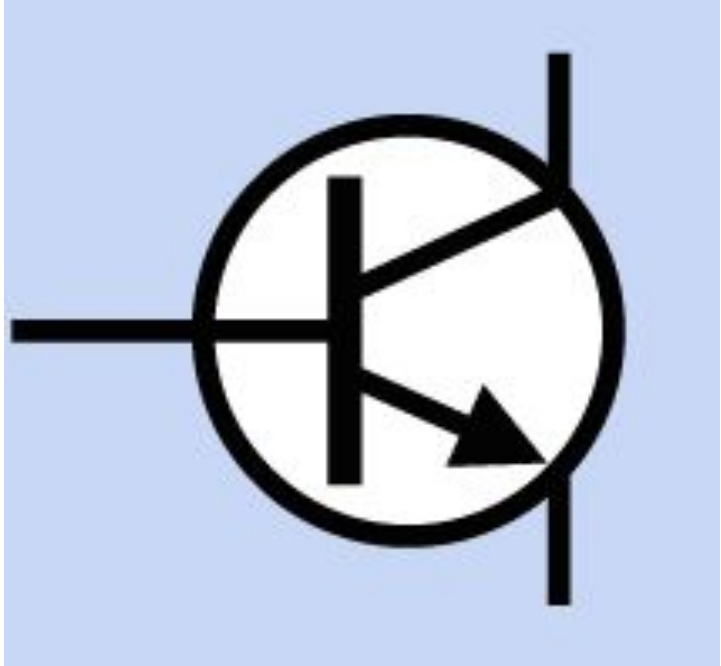


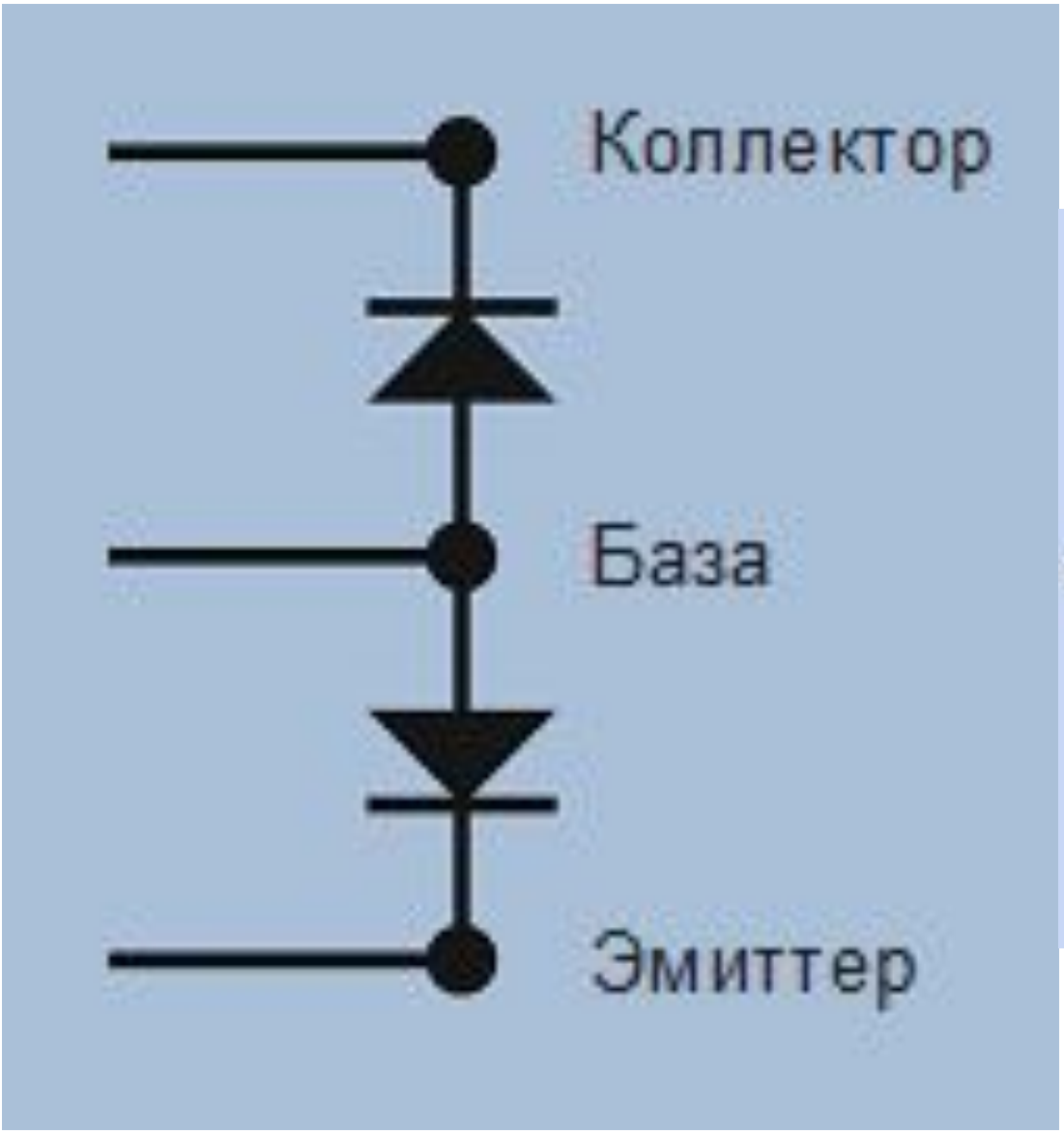
ЛЕКЦИЯ 6

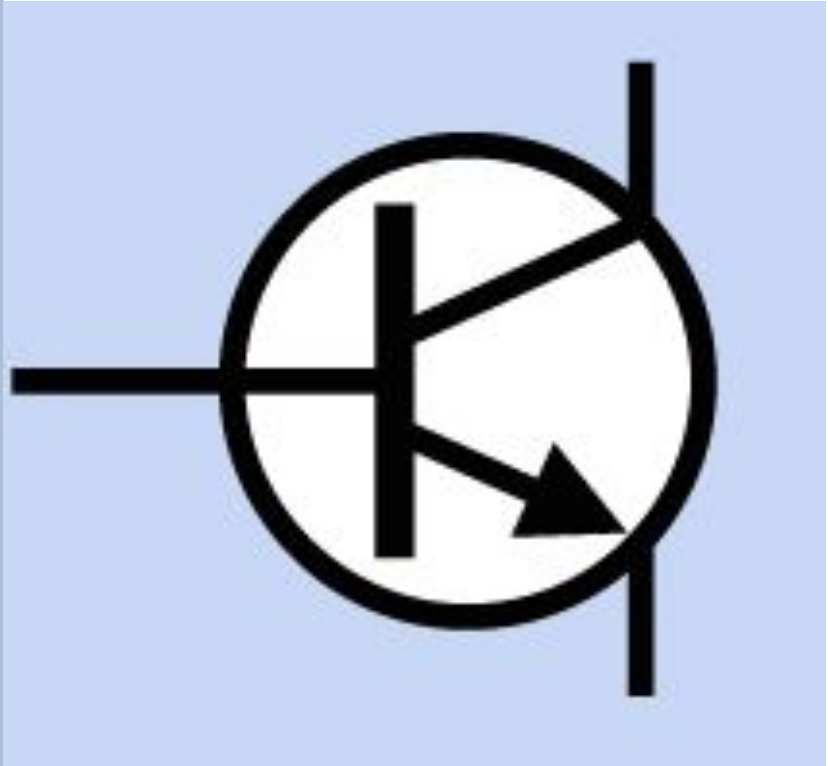
ТРАНЗИСТОРЫ ПРАКТИЧЕСКАЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНЗИСТОРОВ ДИОДИОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

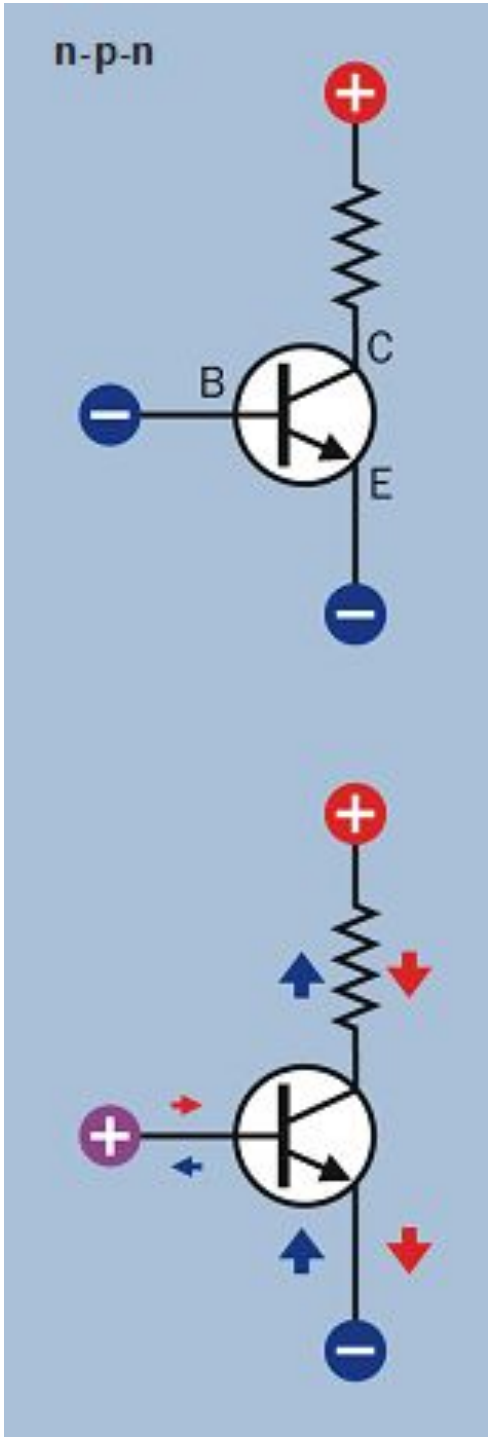

2N3055
9MH68 VW
9M 128
MYS
GE
D45H5
2N
2222
A-338
PHE
13009DG
PJA1201 B4
3661

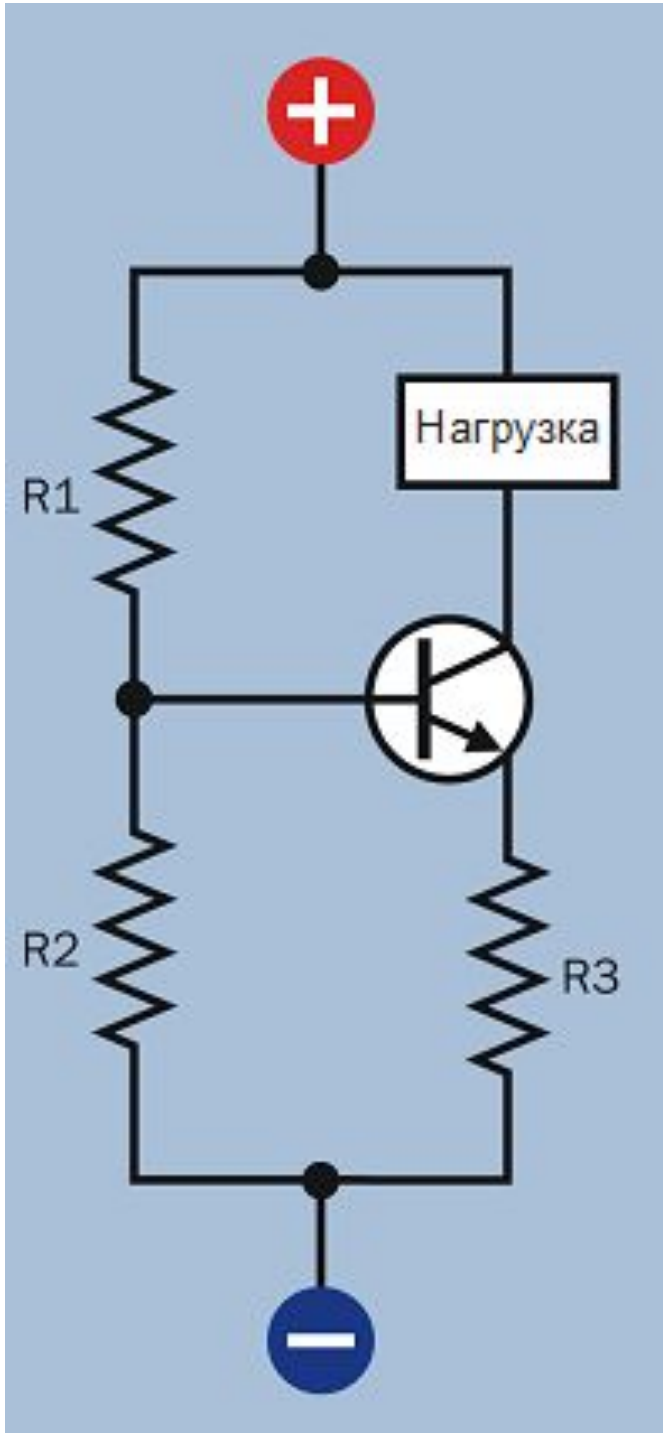
БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР ТИПА n-p-n



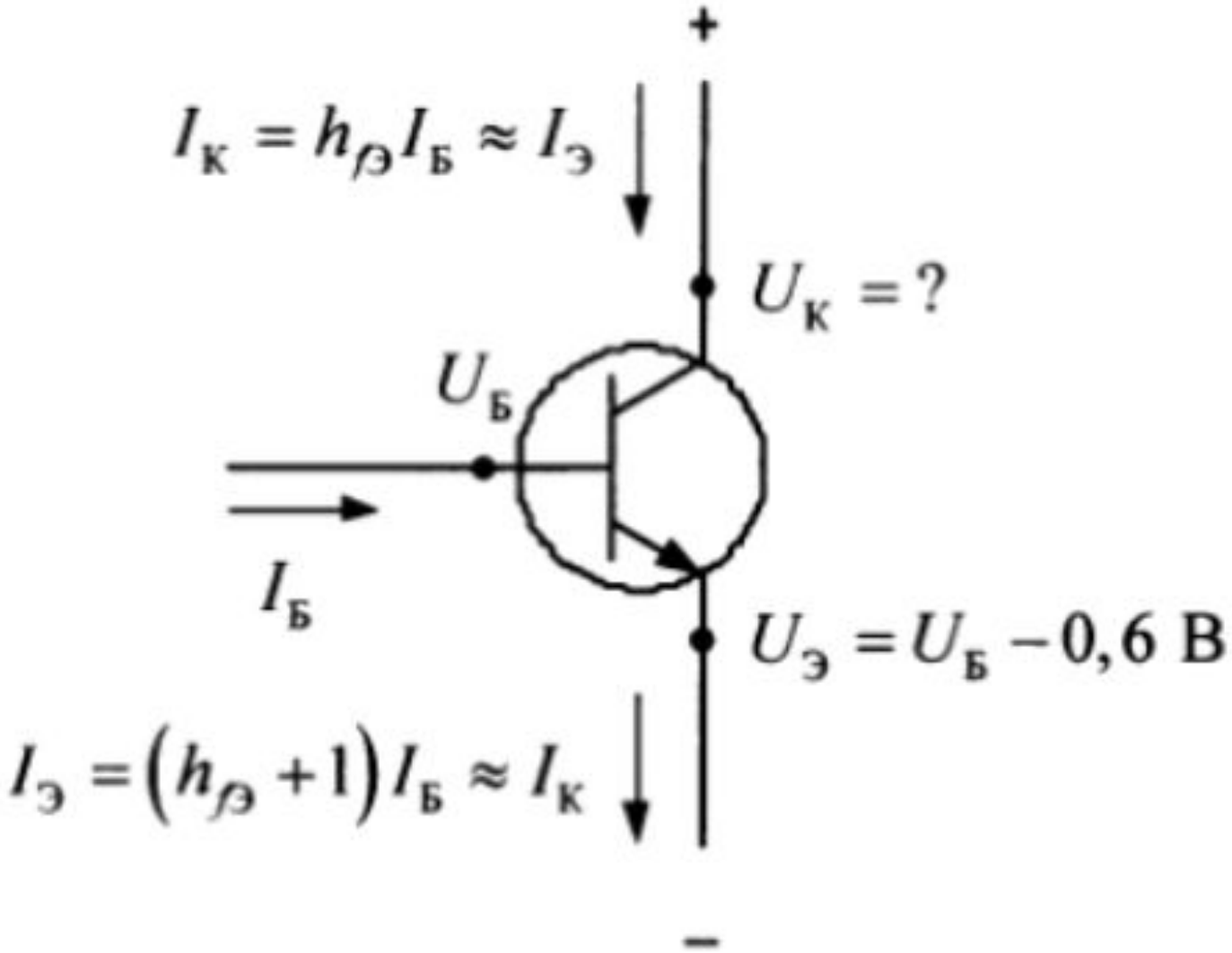

Коллектор
База
Эмиттер




n-p-n
B
C
E

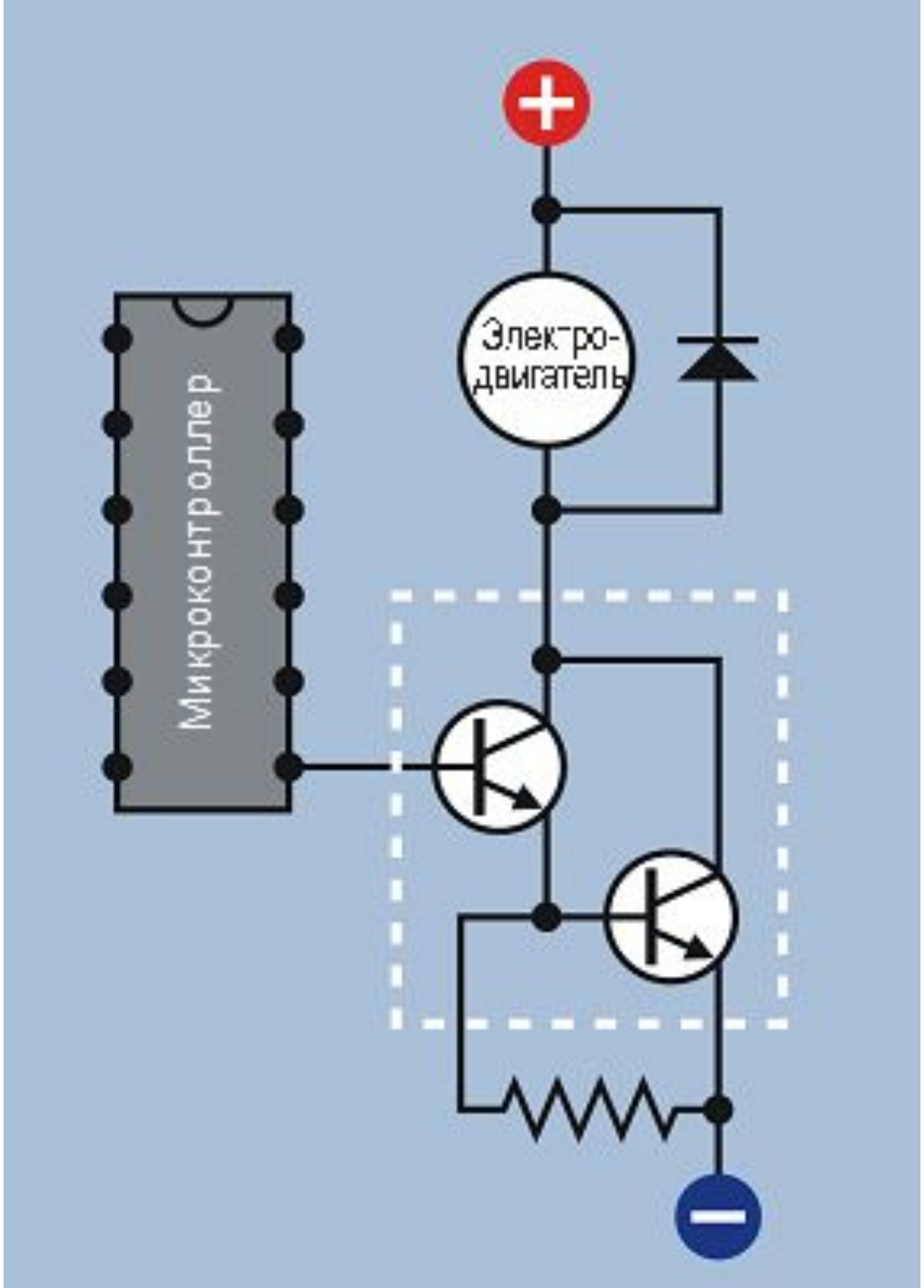

Нагрузка
R1
R2
R3

n–p–n

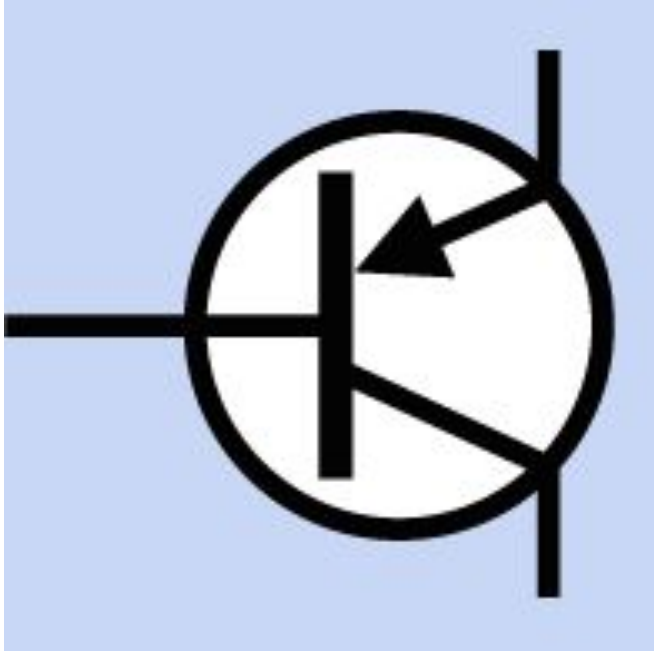


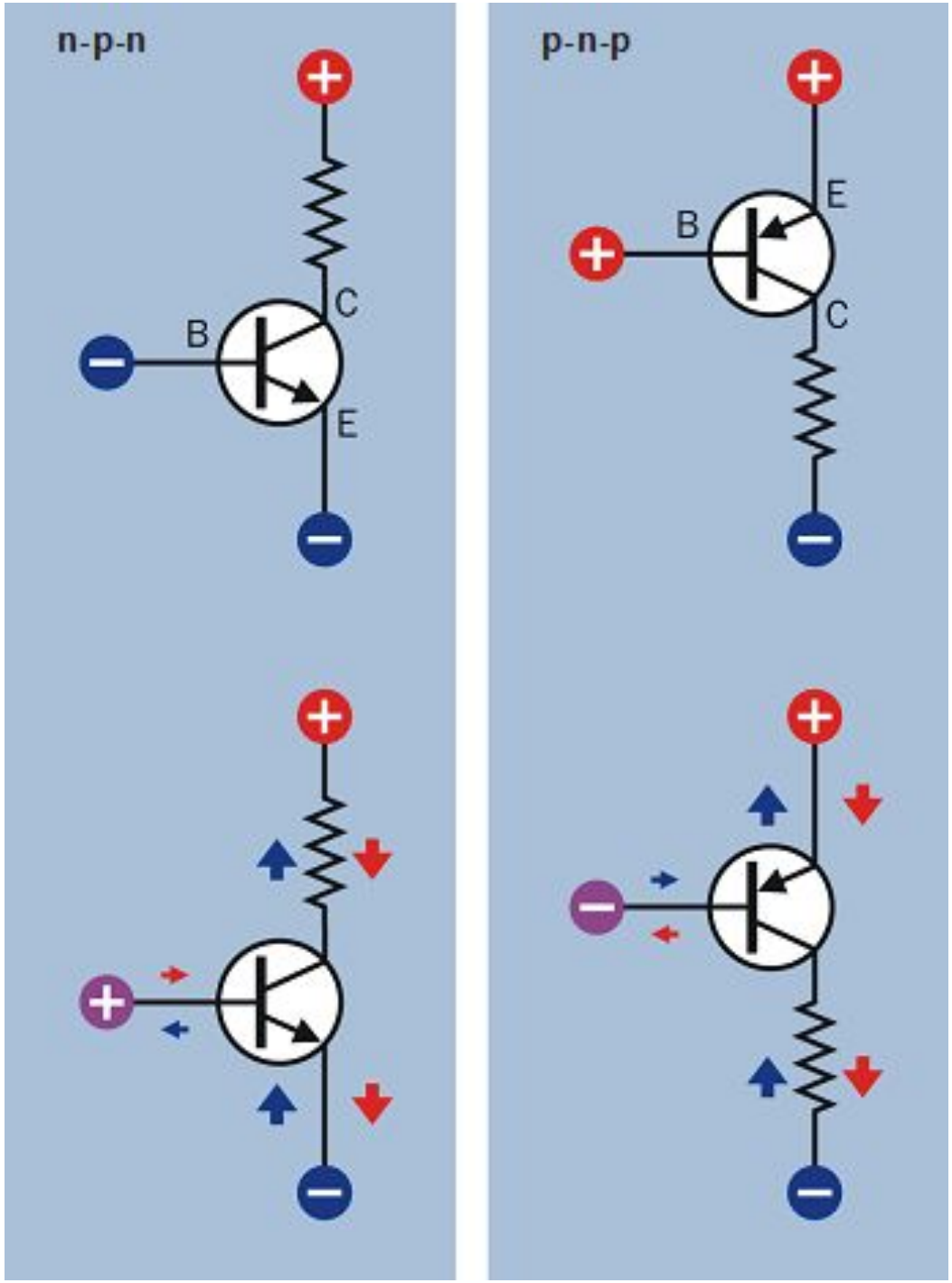
ПАРА ДАРЛИНГТОНА КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ДО 100 000

25мА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В ?

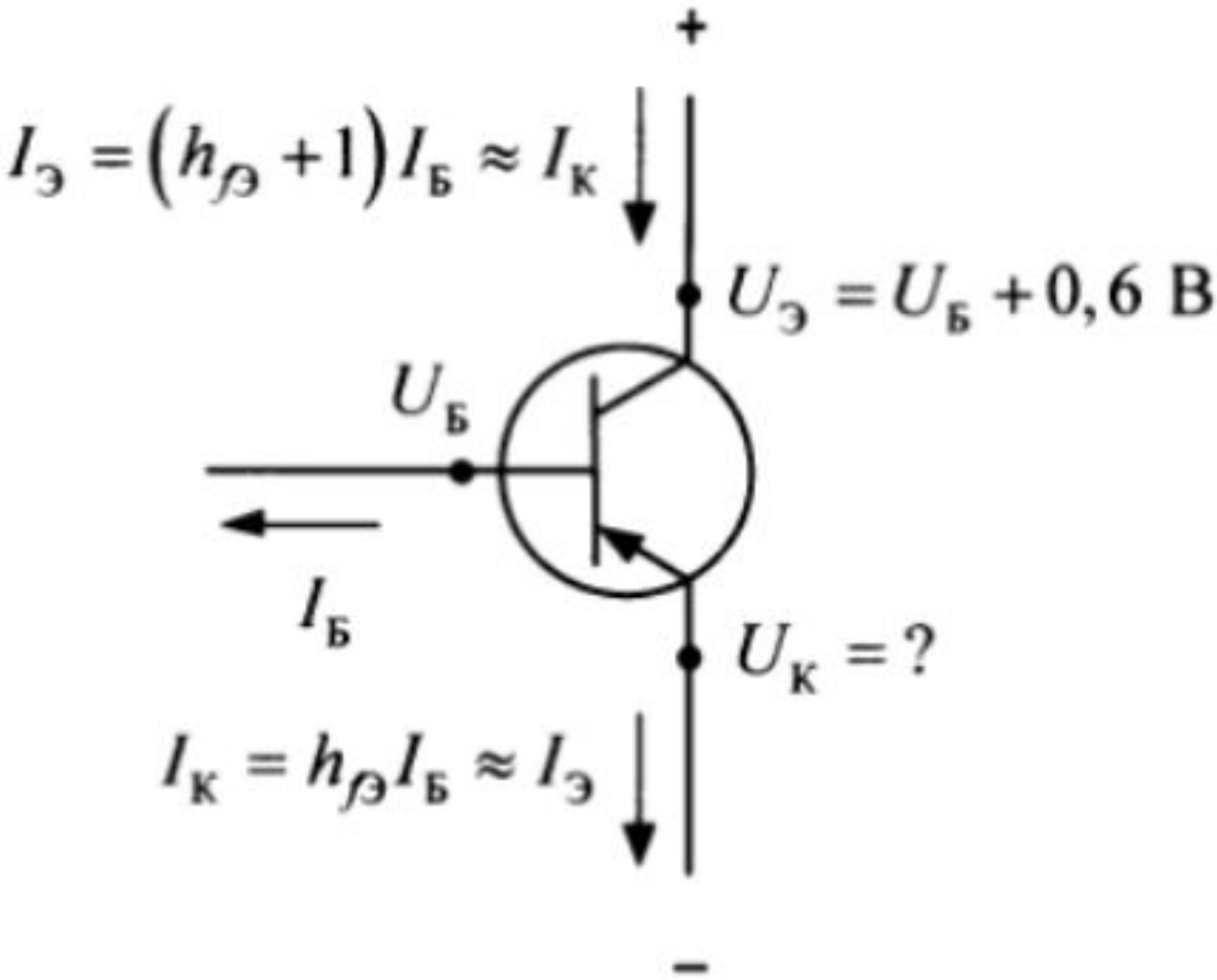


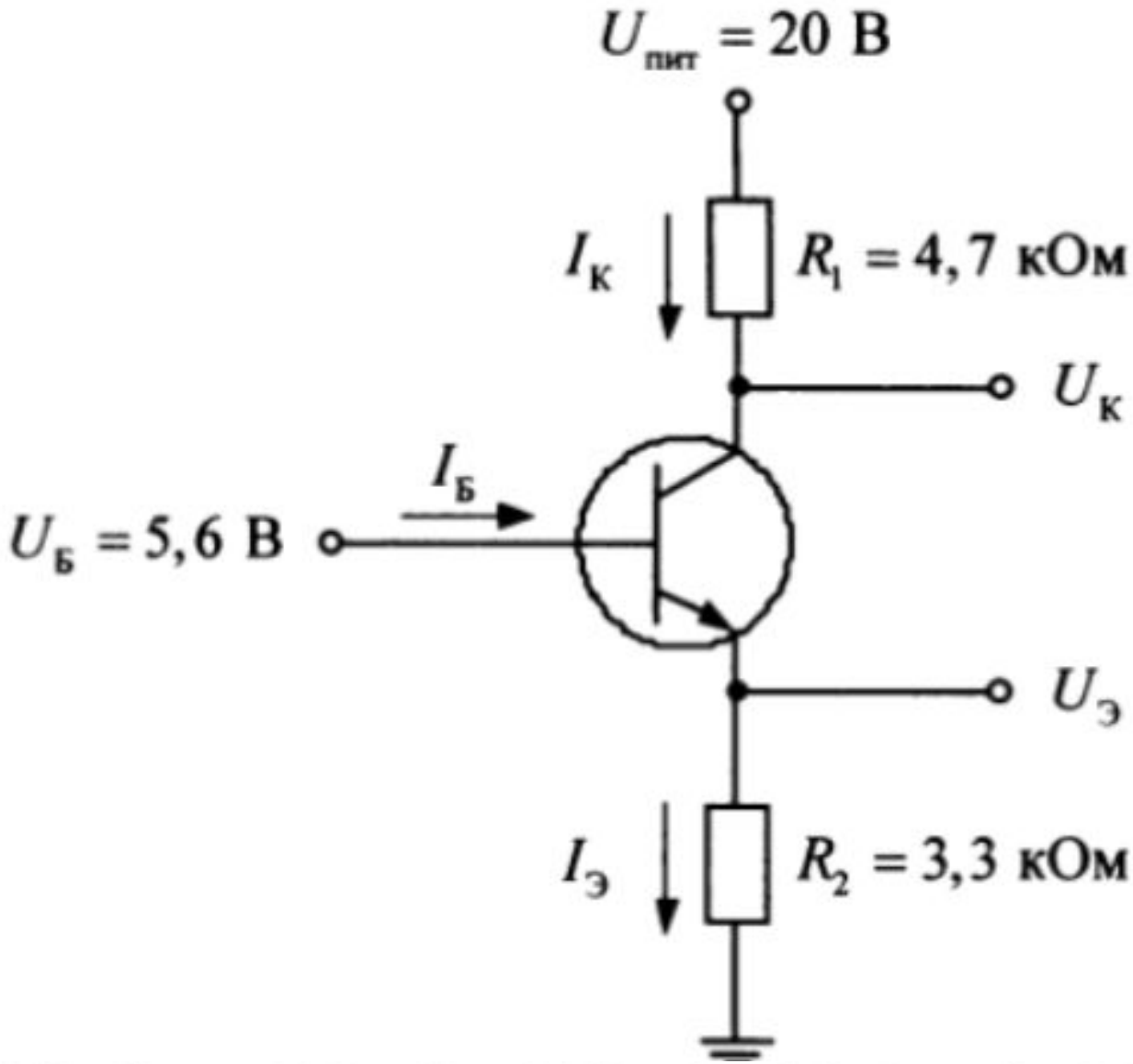
ЗАЧЕМ НУЖЕН ДИОД ?




n-p-n
B
C
E
p-n-p
B
E
C

p–n–p





В схеме на рис. 4.49 $U_{пит} = +20$ В, $U_Б = 5,6$ В, $R_1 = 4,7$ кОм, $R_2 = 3,3$ кОм и $h_{\beta} = 100$. Определить $U_Э$, $I_Э$, $I_Б$, $I_К$ и $U_К$.

$$U_Э = U_Б - 0{,}6\ В;$$

$$U_Э = 5{,}6\ В - 0{,}6\ В = 5{,}0\ В;$$

$$I_Э = \frac{U_Э - 0\ В}{R_2} = \frac{5{,}0\ В}{3300\ Ом} = 1{,}5\ мА;$$

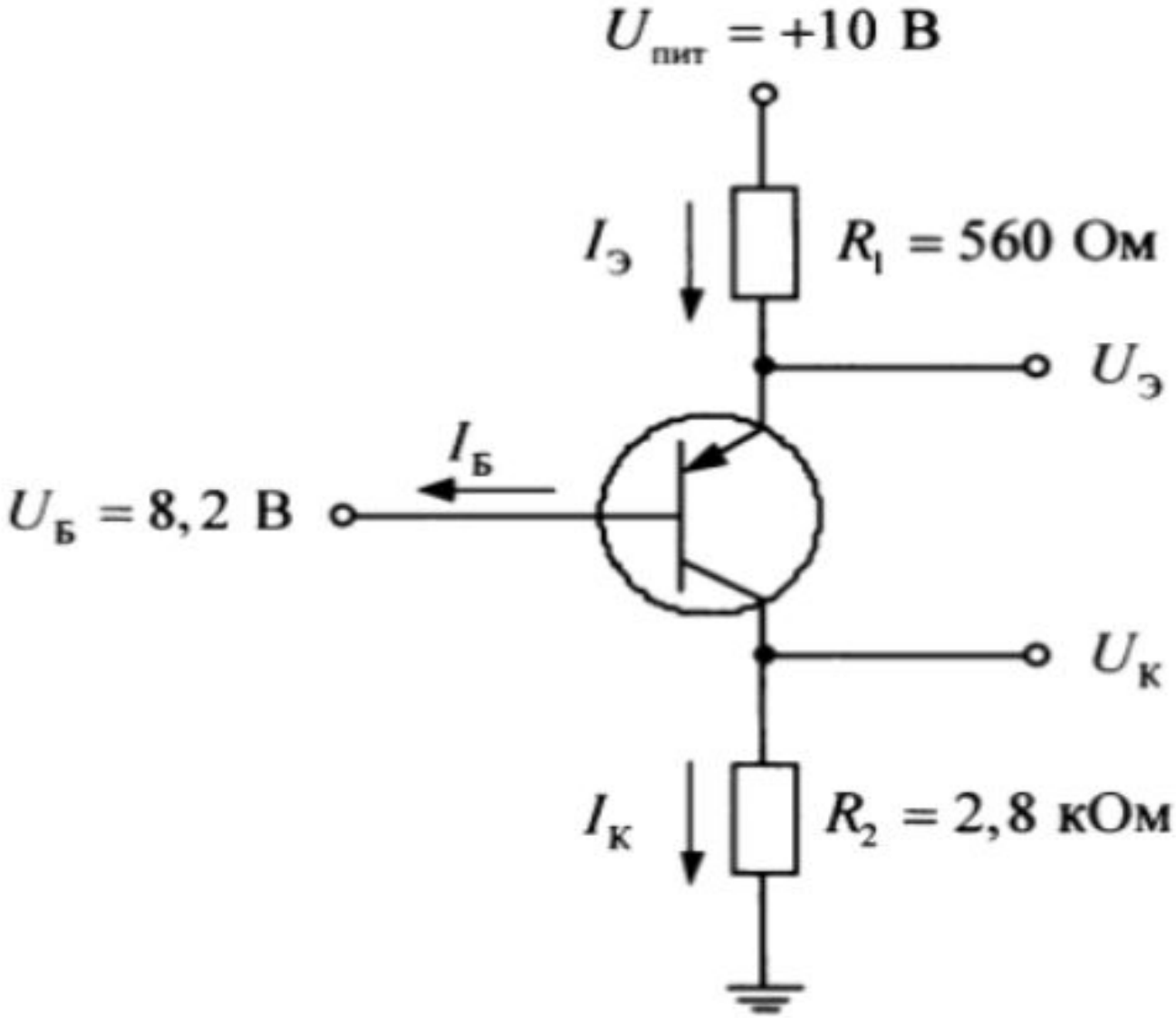
$$I_Б = \frac{I_Э}{1 + h_{ЭЭ}} = \frac{1{,}5\ мА}{1 + 100} = 0{,}015\ мА;$$

$$I_К = I_Э - I_Б \approx I_Э = 1{,}5\ мА;$$

$$U_К = U_{пит} - I_К R_1;$$

$$U_К = 20\ В - (1{,}5\ мА)(4700\ Ом);$$

$$U_К = 13\ В.$$



В схеме на рис. 4.49 $U_{пит} = +10$ В, $U_Б = 8,2$ В, $R_1 = 560$ Ом, $R_2 = 2,8$ кОм $h_{Э} = 100$. Определите $U_Э$, $I_Э$, $I_Б$, $I_К$ и $U_К$.

$$U_Э = U_Б + 0,6\ \text{В};$$

$$U_Э = 8,2\ \text{В} + 0,6\ \text{В} = 8,8\ \text{В};$$

$$I_Э = \frac{U_{пит} - U_Э}{R_1} = \frac{10\ \text{В} - 8,8\ \text{В}}{560\ \text{Ом}} = 2,1\ \text{мА};$$

$$I_Б = \frac{I_Э}{1 + h_{ƒЭ}} = \frac{2,1\ \text{мА}}{1 + 100} = 0,02\ \text{мА};$$

$$I_К = I_Э - I_Б \approx I_Э = 2,1\ \text{мА};$$

$$U_К = 0\ \text{В} - I_К R_2;$$

$$U_К = 0\ \text{В} - (2,1\ \text{мА})(2800\ \text{Ом});$$

$$U_К = 5,9\ \text{В}.$$

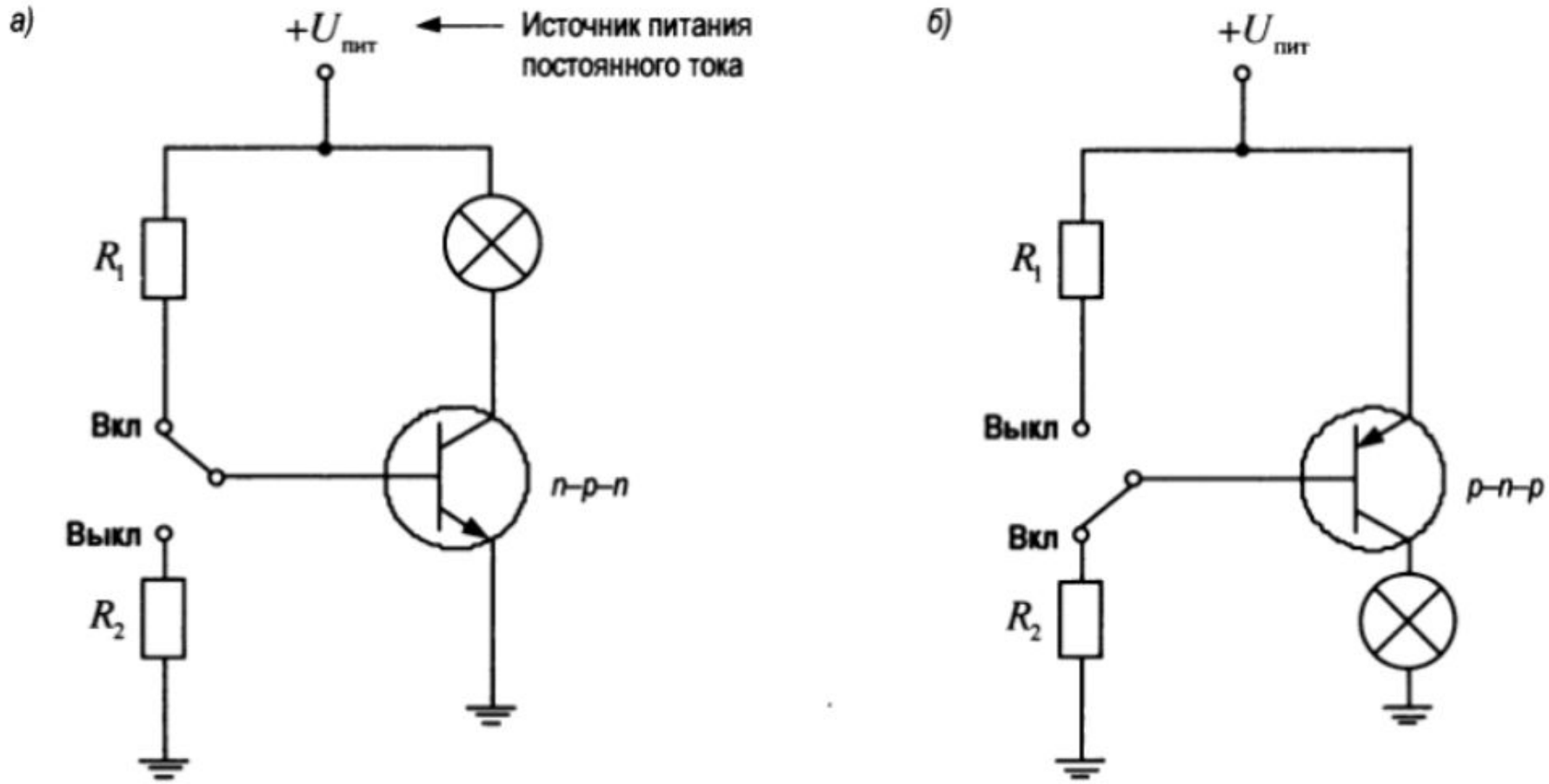
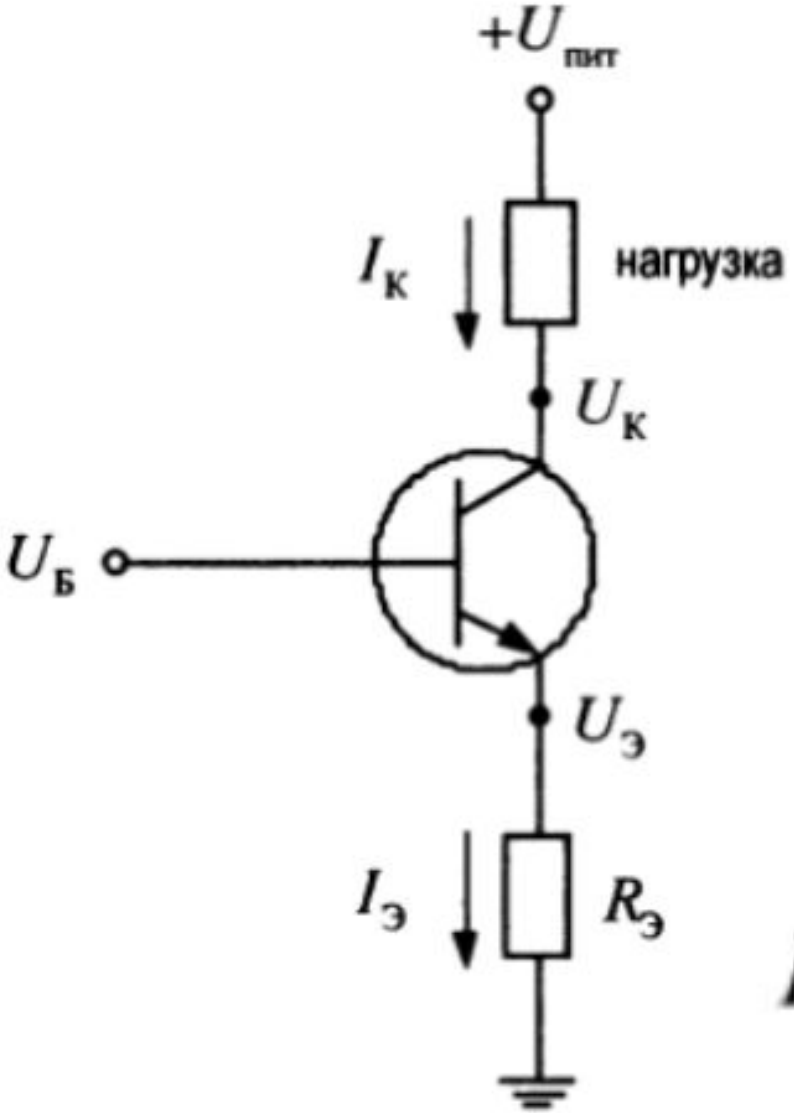


РИС. 4.52. Транзисторный переключатель: *а* — на транзисторе *n–p–n*-типа; *б* — на транзисторе *p–n–p*-типа



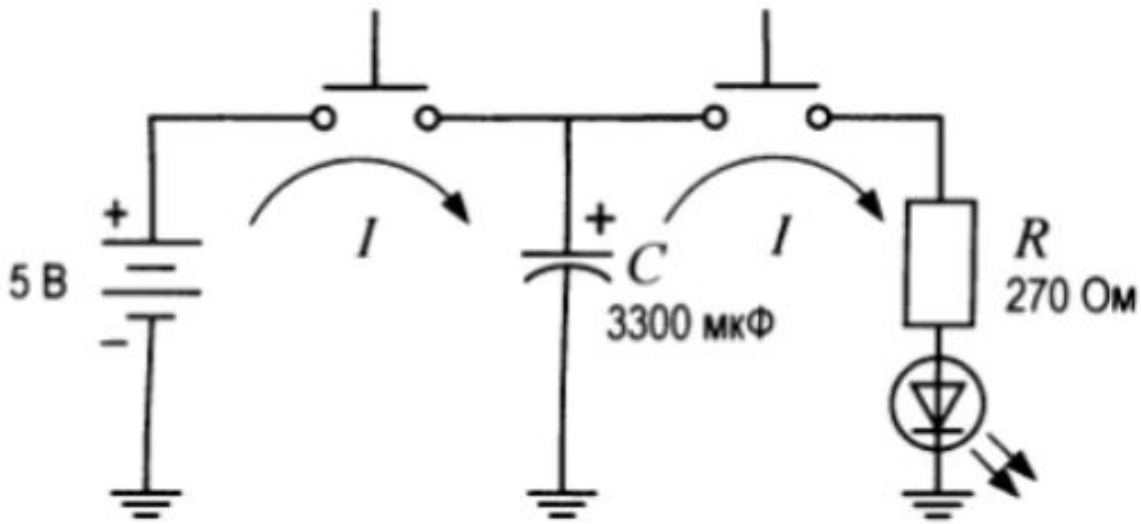
$$U_Э = U_Б - 0{,}6\ \text{В}$$

$$I_Э = \frac{U_Э}{R_Э}$$

$$I_К \approx I_Э \ \left(\text{для больших } h_{\beta}\right)$$

$$I_К = I_{нагр}\frac{U_Б - 0{,}6\ \text{В}}{R_Э}.$$

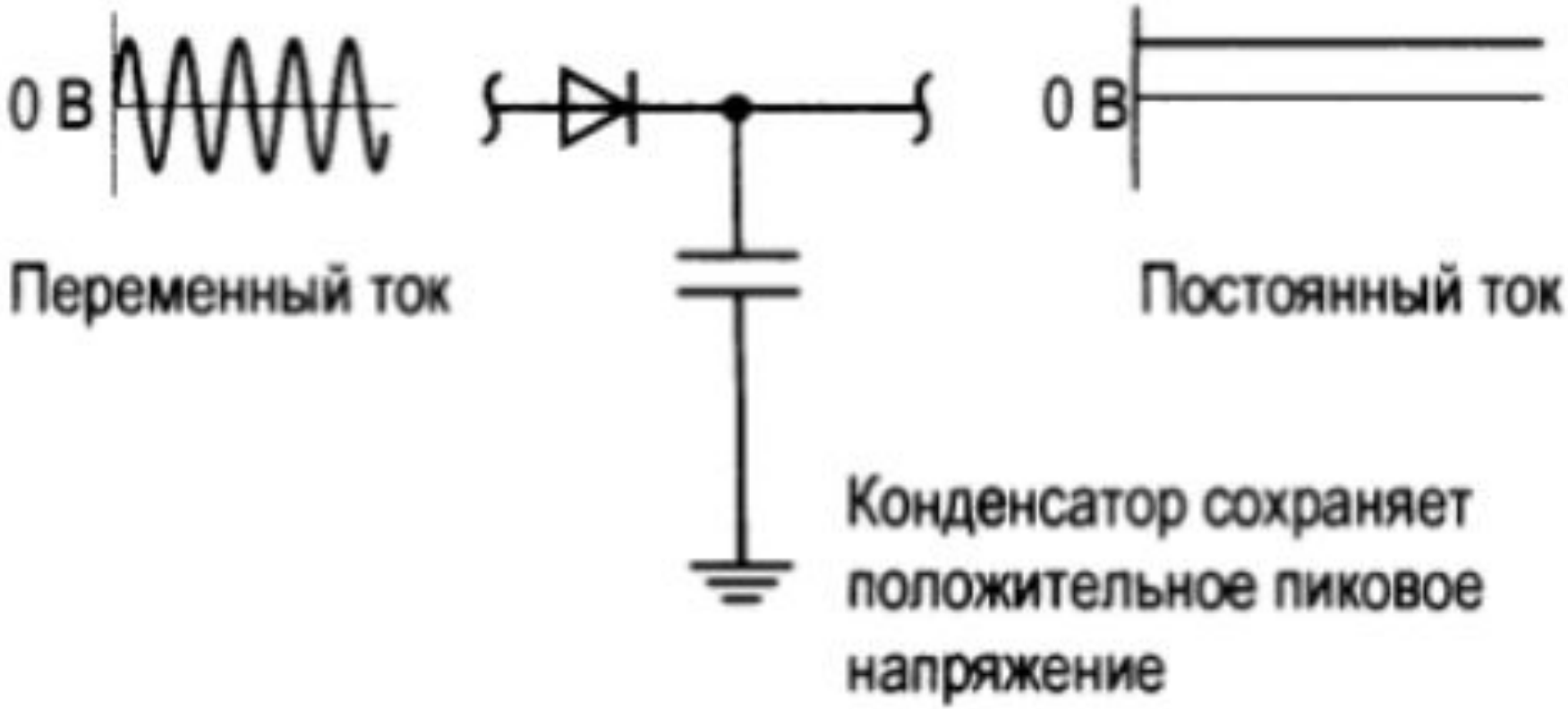
а)

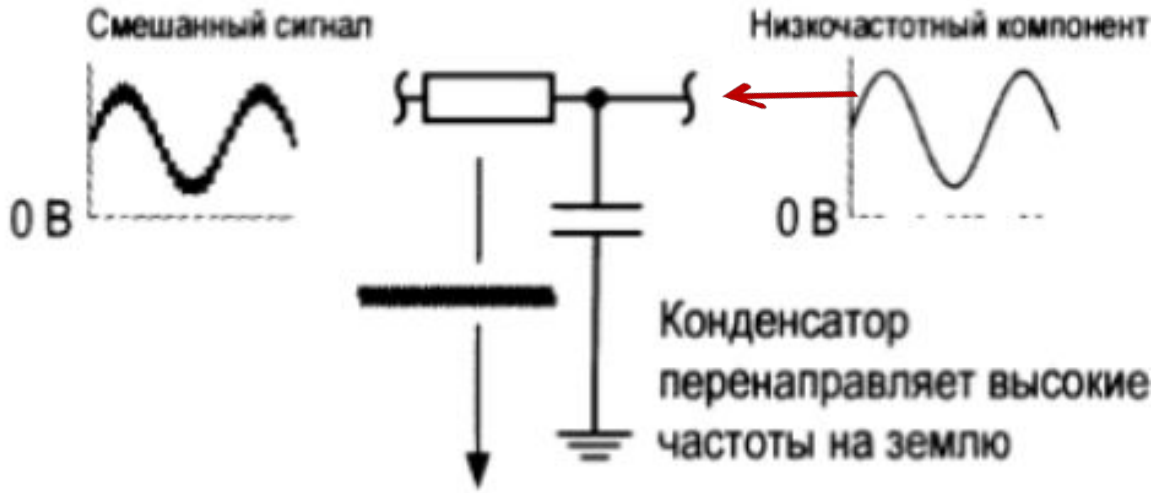


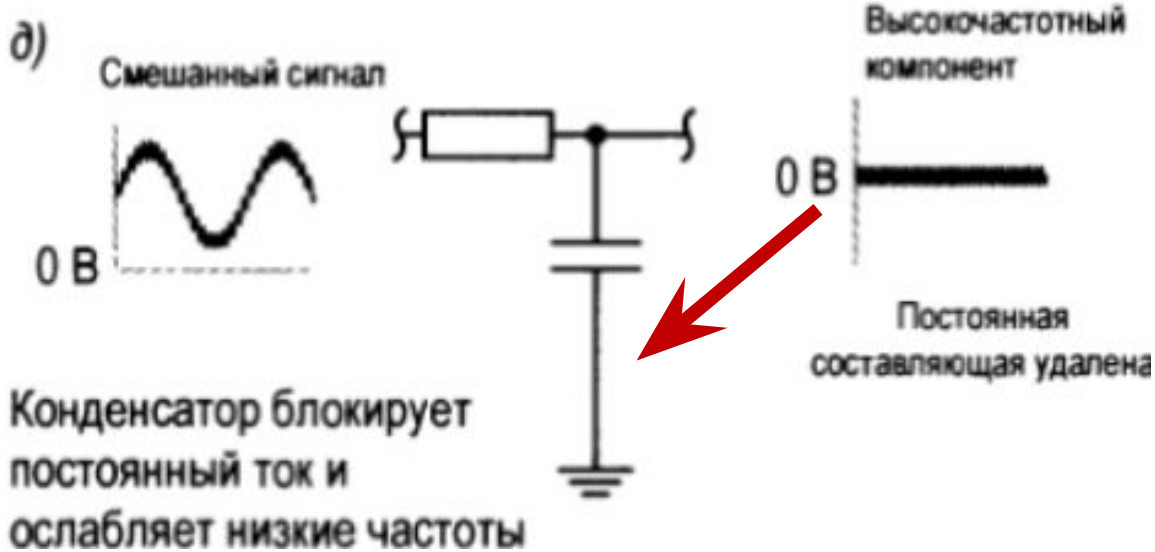
Ток ⟶ Заряд ⟶ Ток

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad q = CU \qquad I = \frac{dq}{dt}$$

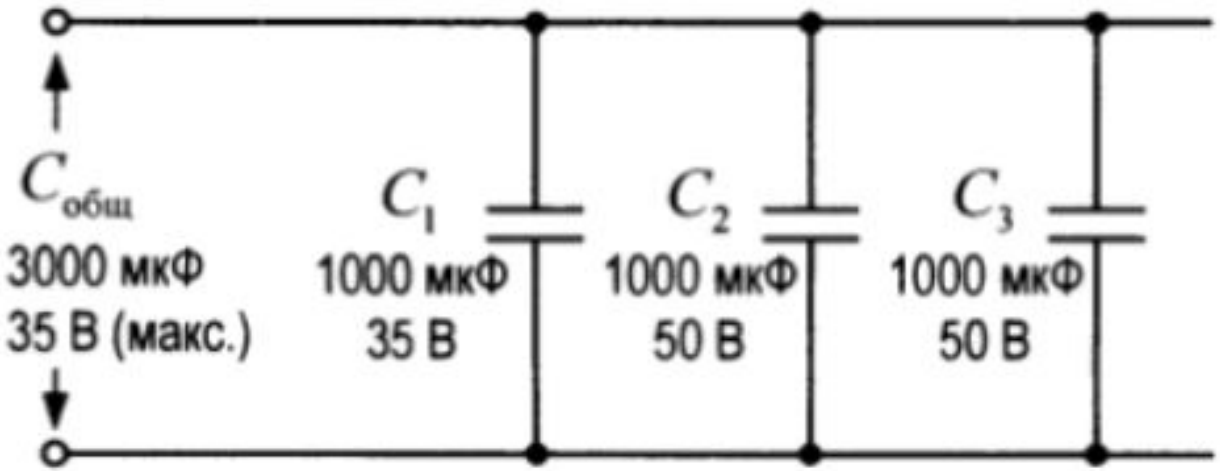
C, мкФ	Длительность свечения светодиода, с	C, мкФ	Длительность свечения светодиода, с
4300	12	1000	4
2300	8	100	1


0 В
0 В
Переменный ток
Постоянный ток
Конденсатор сохраняет положительное пиковое напряжение


Смешанный сигнал
Низкочастотный компонент
0 В
0 В
Конденсатор
перенаправляет высокие
частоты на землю

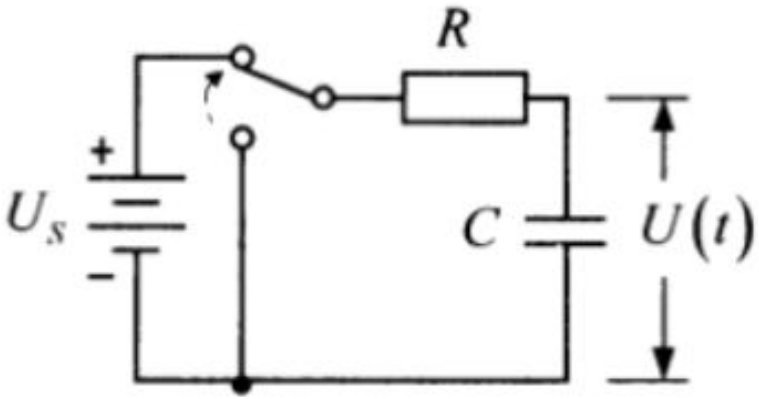

д)
Смешанный сигнал
Высокочастотный
компонент
0 В
0 В
Постоянная
составляющая удалена
Конденсатор блокирует
постоянный ток и
ослабляет низкие частоты

а) Повышает общую емкость, но ограничивает максимальное номинальное напряжение наименьшим номинальным напряжением среди всех конденсаторов

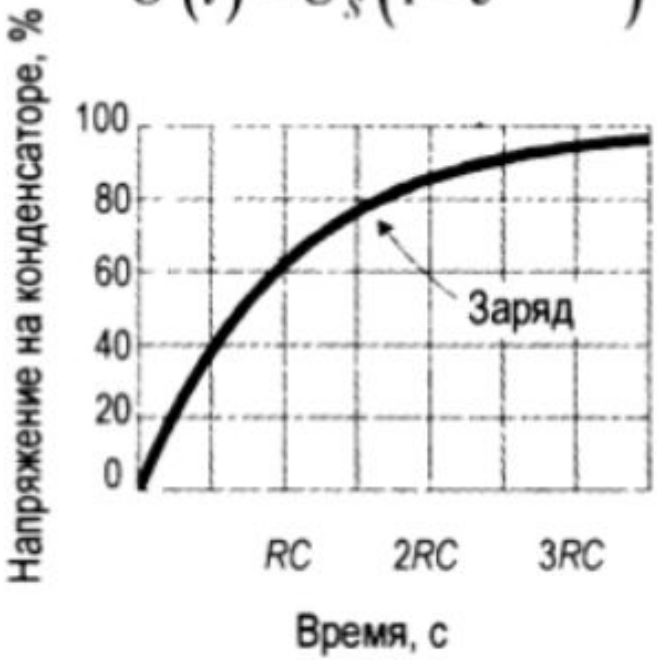


$$C_{общ} = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n$$

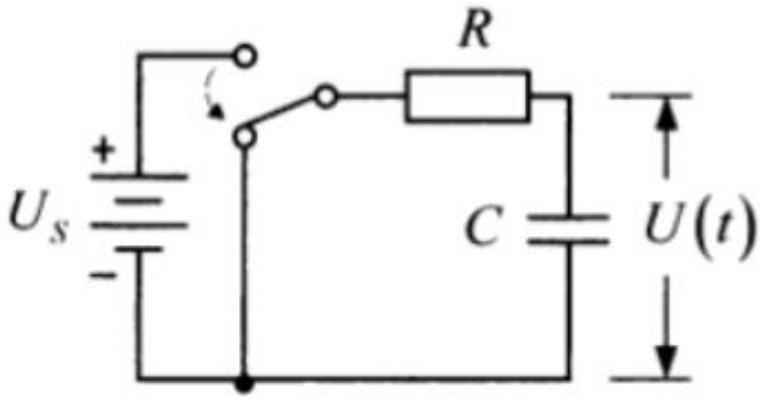
Зарядка конденсатора



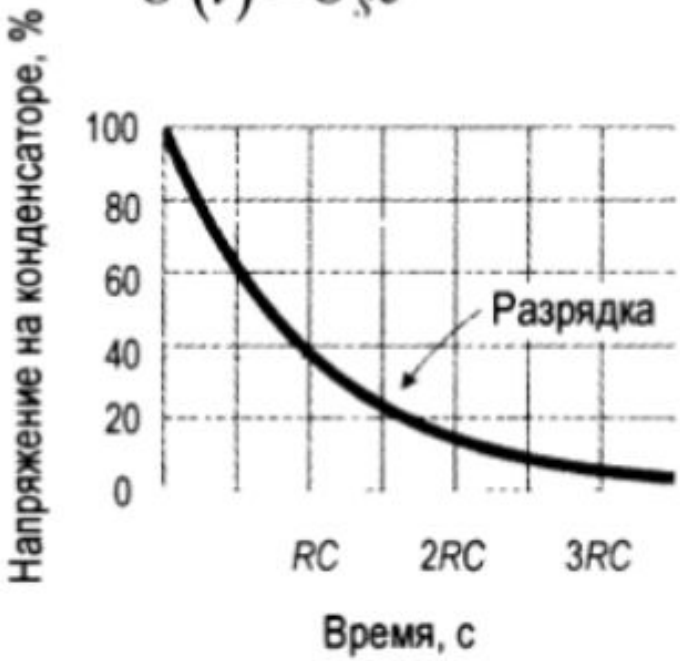
$$U(t) = U_s\left(1 - e^{-(t/RC)}\right)$$



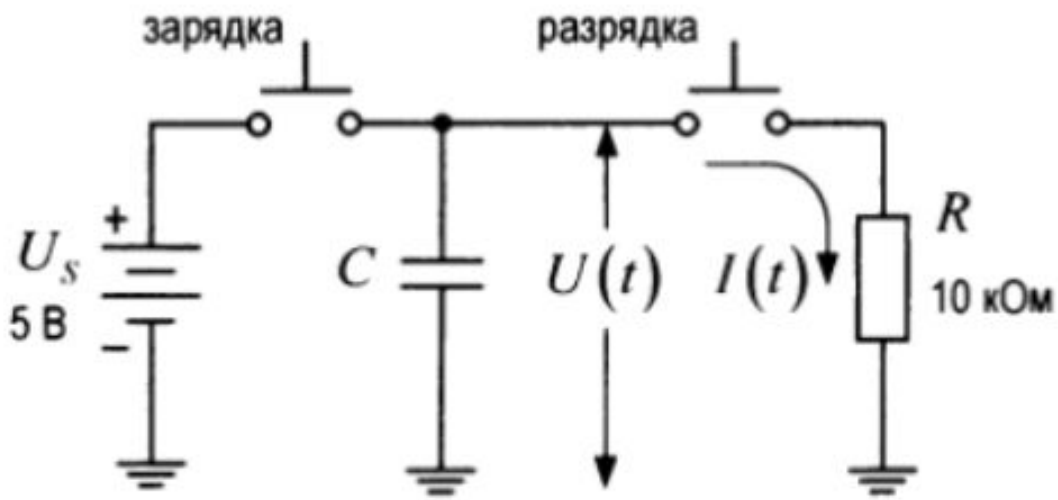
Разрядка конденсатора



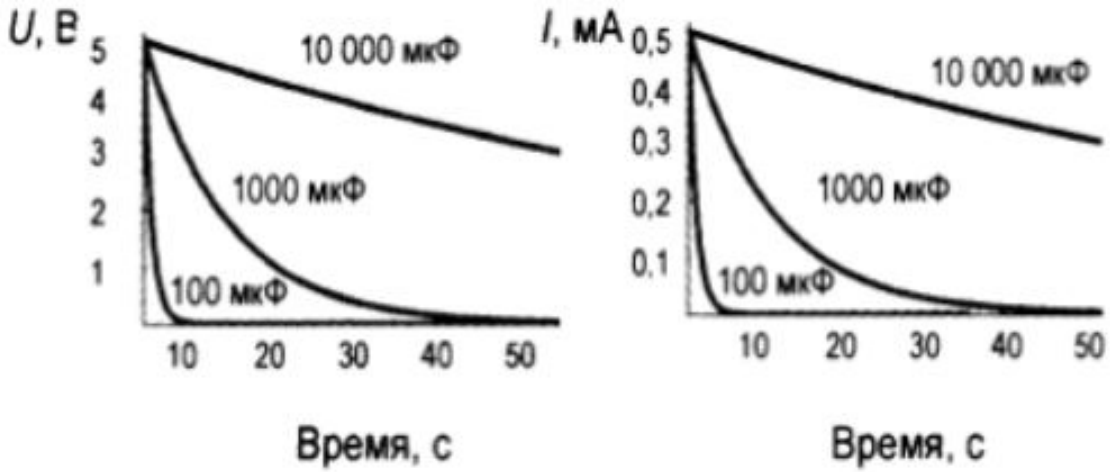
$$U(t) = U_s e^{-(t/RC)}$$



100 мкФ, 1000 мкФ, 10 000 мкФ разрядка



$$U(t) = U_s e^{-(t/RC)} \qquad I(t) = (U_s/R)e^{-(t/RC)}$$

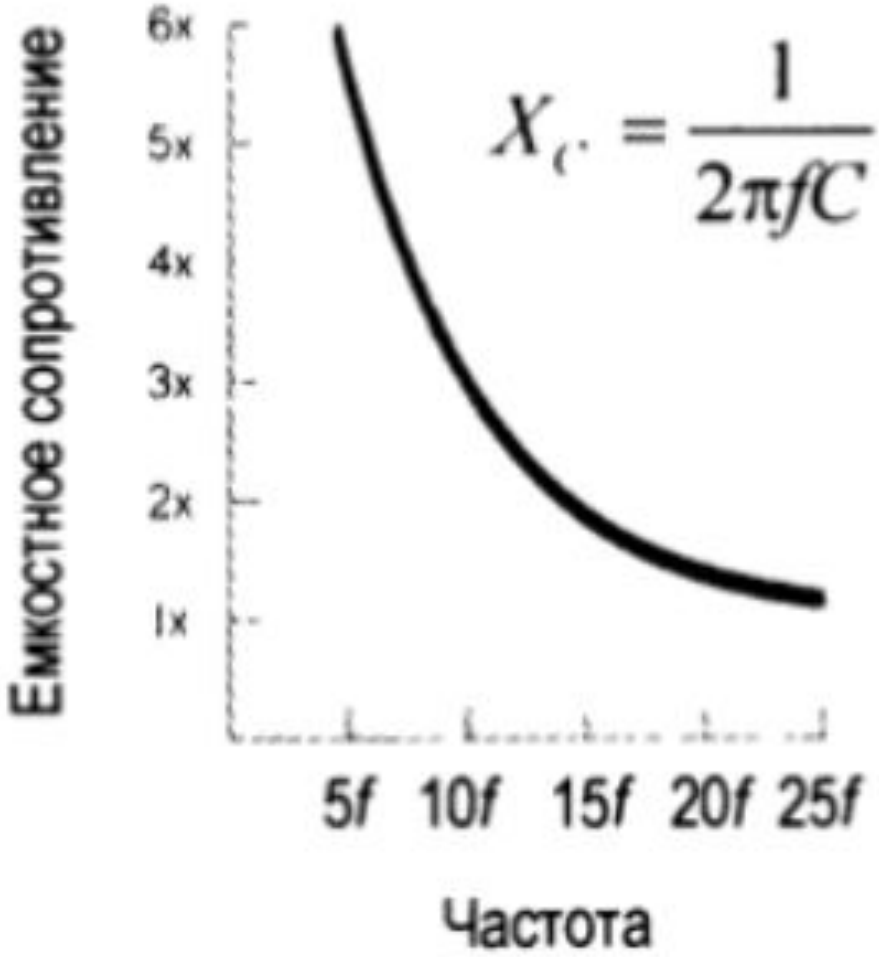


Накопленная энергия $E_{конд} = 0,5CU^2$

Количество заряда, которое можно сохранить в конденсаторе, прямо пропорционально напряжению зарядки и емкости конденсатора ($q = CU$). В цепи переменного тока заряд конденсатора перемещается вперед и назад каждый цикл, поэтому скорость перемещения заряда (ток) пропорциональна напряжению, емкости и частоте. Если рассматривать емкость и частоту совместно, они создают величину наподобие сопротивления. Но поскольку в результате не создается тепло, эффект называется *реактивным сопротивлением конденсатора* или просто емкостным сопротивлением. *Емкостное сопротивление конденсатора* измеряется в омах, как и сопротивление резисторов, и вычисляется для определенной частоты по следующей формуле:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C},$$

где X_C — емкостное сопротивление, Ом; f — частота, Гц; C — емкость, Ф; $\pi = 3{,}1416$. Часто выражение $2\pi f$ заменяется буквой омега — ω.

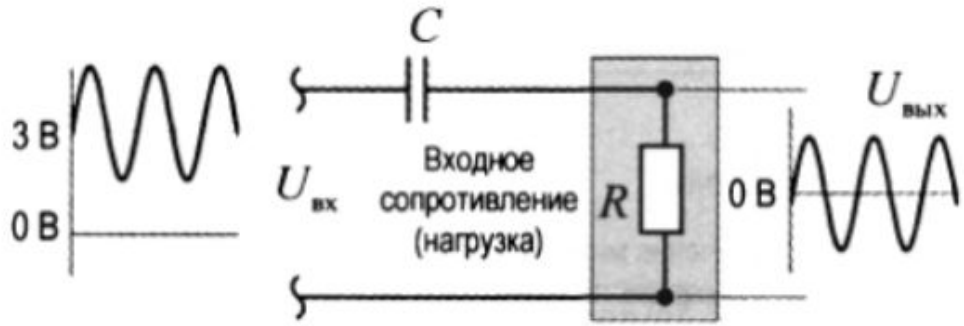


Идеальное отношение реактивного сопротивления к частоте для постоянного конденсатора

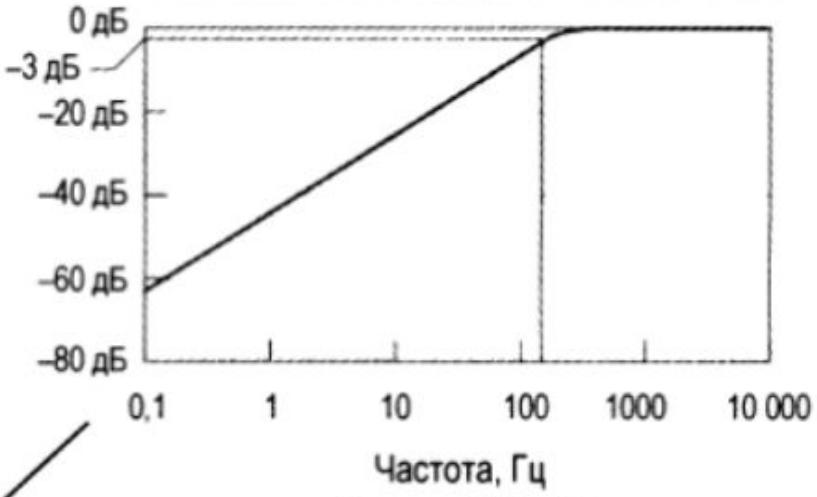
Например, емкостное сопротивление конденсатора емкостью 220 пФ, на который подается сигнал частотой 10 МГц, будет:

$$X_C = \frac{1}{2\pi\left(10 \cdot 10^6 \text{ Гц}\right)\left(220 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}\right)} = 72{,}3 \text{ Ом}.$$

Иллюстрация блокировки сигнала постоянного тока

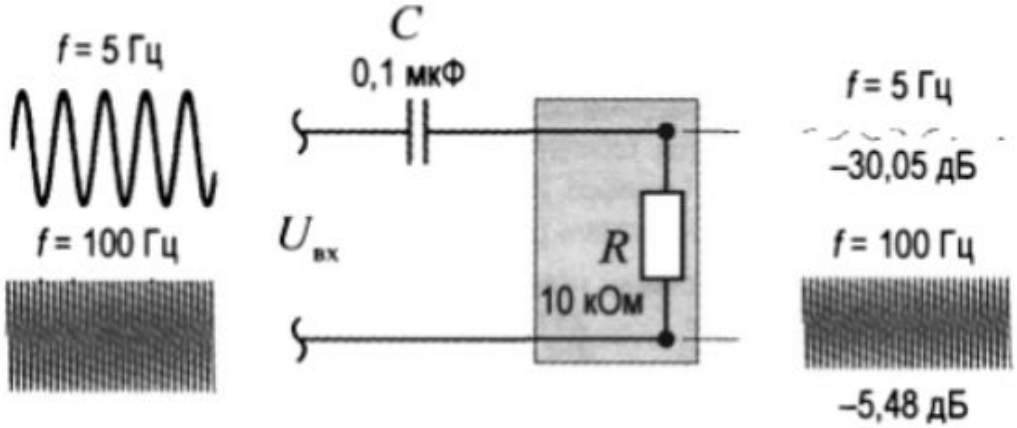


Зависимость ослабления сигнала от частоты



$$f_{-3\ дБ} = 159\ Гц$$

Иллюстрация связи по переменному току (высокочастотный фильтр)



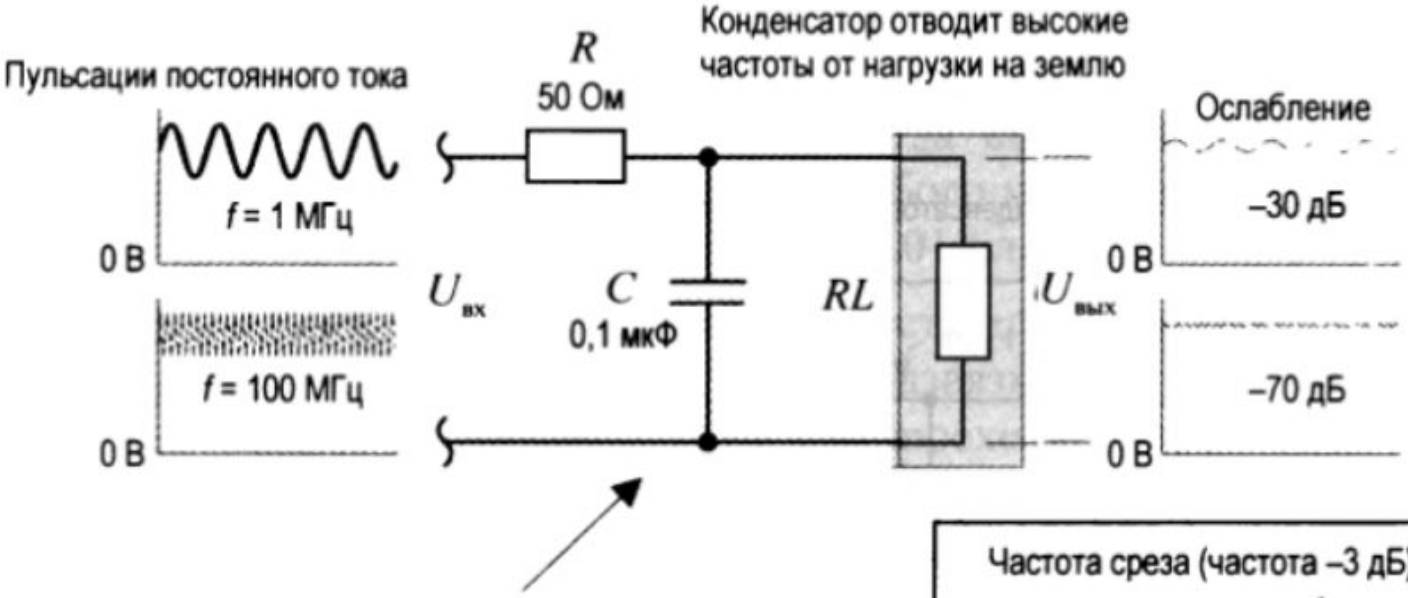
Частота среза (частота –3 дБ)

$$f_C = f_{-3\ дБ} = \frac{1}{2\pi RC}$$

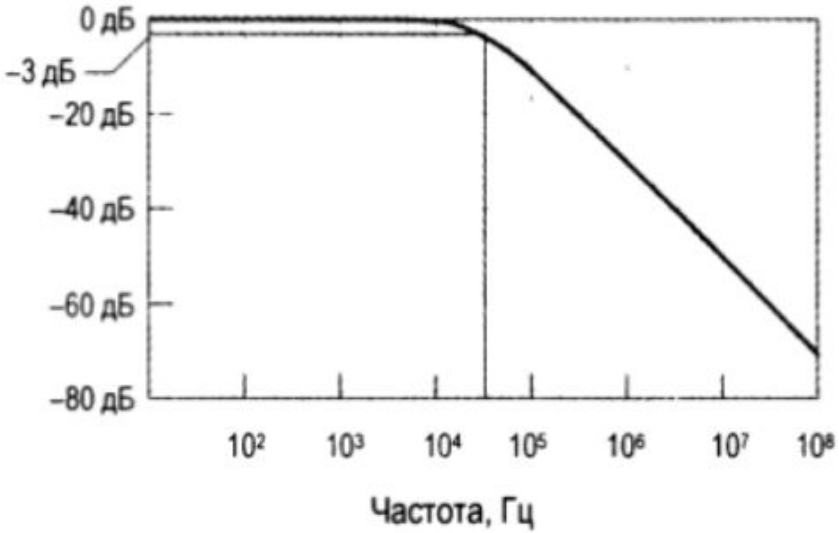
Ослабление

$$A = \left|\frac{U_{вых}}{U_{вх}}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+\left(f_C^2/f^2\right)}}$$

$$A_{дБ} = 20\log A \text{ (в децибелах)}$$



Зависимость ослабления сигнала от частоты



Частота среза (частота –3 дБ)

$$f_c = f_{-3\ дБ} = \frac{1}{2\pi RC}$$

Ослабление

$$A = \left|\frac{U_{вых}}{U_{вх}}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi fRC)^2}}$$

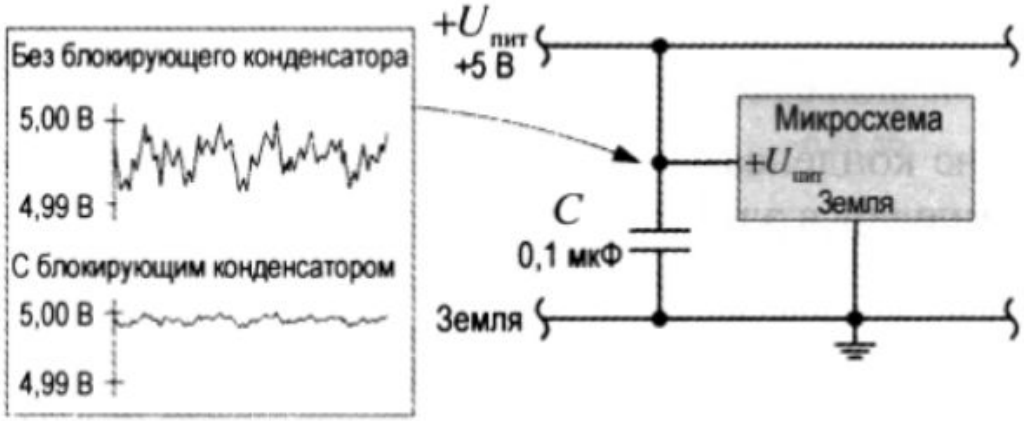
$$A_{дБ} = 20\log A \quad \text{(в децибелах)}$$

Сдвиг по фазе

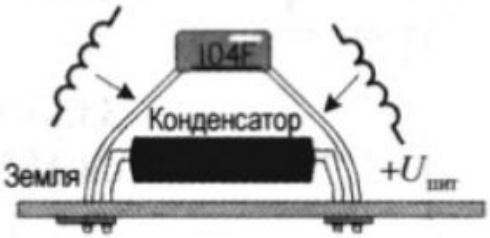
$$\varphi = \mathrm{tg}^{-1}(1/2\pi fRC)$$

$$f_{-3\ дБ} = 32\ кГц$$

Отвод нежелательных колебаний источника питания на землю

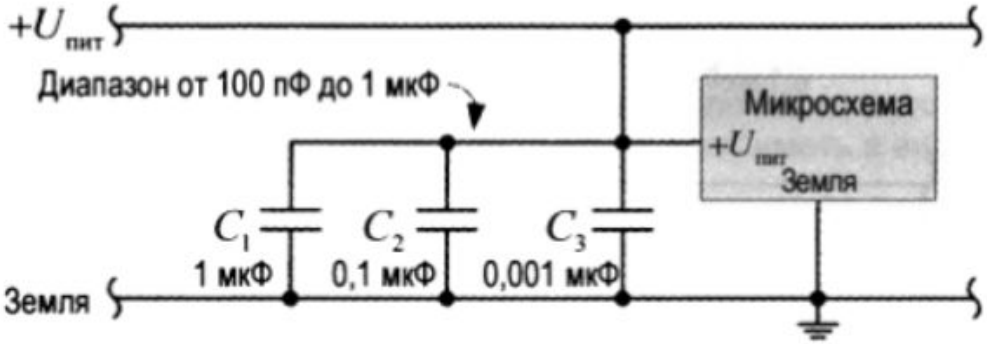


Высокая индуктивность выводов (плохо)

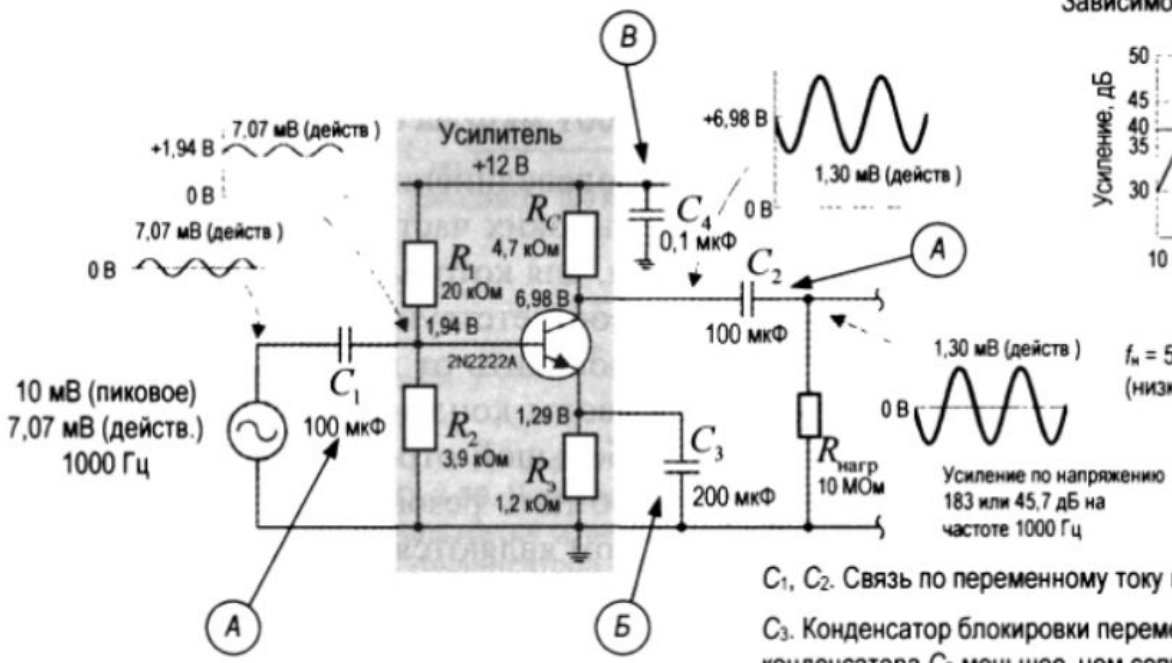


Лучше, чтобы выводы были короткими

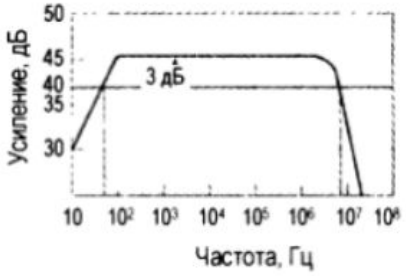
Несколько блокирующих конденсаторов для составных колебаний источника питания



В этом плане идеальны конденсаторы для поверхностного монтажа



Зависимость усиления от частоты



$f_н$ = 50 Гц (низкий предел) $f_в$ = 7 МГц (высокий предел)

C_1, C_2. Связь по переменному току и блокировка постоянного тока для входа и выхода.

C_3. Конденсатор блокировки переменного тока. На частотах, при которых импеданс X_C конденсатора C_3 меньшее, чем сопротивление эмиттерного резистора $R_э$, конденсатор C_3 пропускает сигнал переменного тока через себя на землю и удаляет резистор $R_э$ из цепи. Это устраняет отрицательную обратную связь, которая возникает при постоянном токе и повышает усиление переменного тока.

C_4. Конденсатор для развязки источника питания.

Подробности см. в главе о выпрямителях...

Без конденсатора фильтра

$U_{вх(пик)} = 1,41 \cdot 10\ В = 14,1\ В$

$U_{пост} = 0,9 \cdot 10\ В = 9\ В$

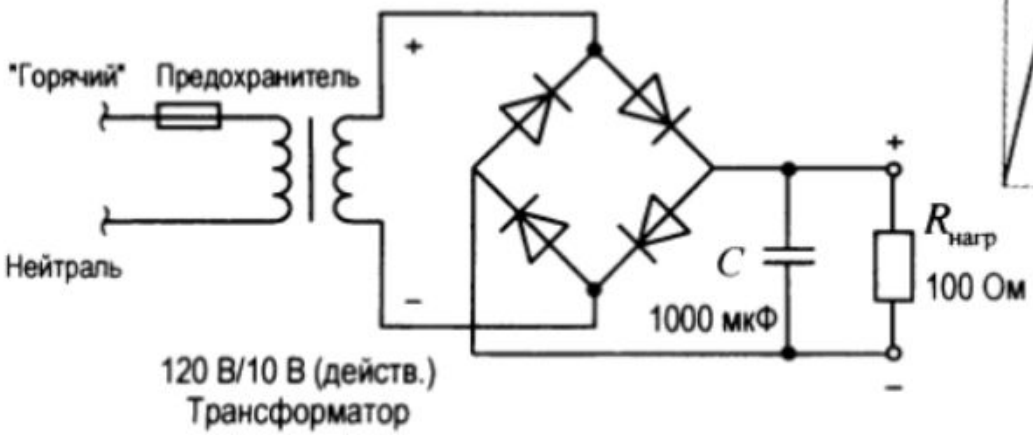
С конденсатором фильтра

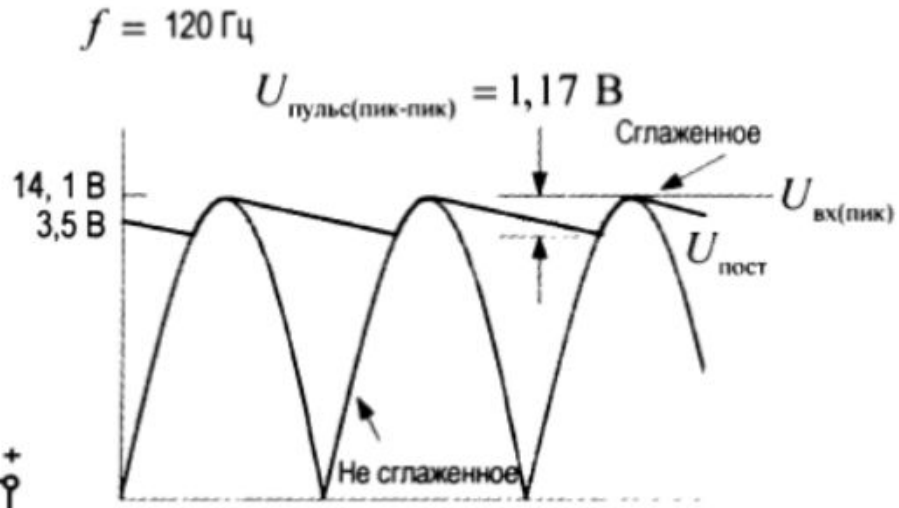
$U_{пост} = 13,51\ В$

$U_{пульс(пик-пик)} = 1,17\ В$

$U_{вх(действ)} = 0,34\ В$

Коэффициент пульсации = 0,0251 или 2,51%





Чтобы понизить уровень напряжения пульсации, используйте конденсатор большей емкости. Повышение сопротивления нагрузки также понизит уровень пульсаций.

Для пульсации низкого уровня

$$U(t) \approx U_{\text{вх(пик)}}\left[1-\frac{t}{RC}\right]$$

Поэтому напряжение пульсации полного размаха (от пика к пику) будет

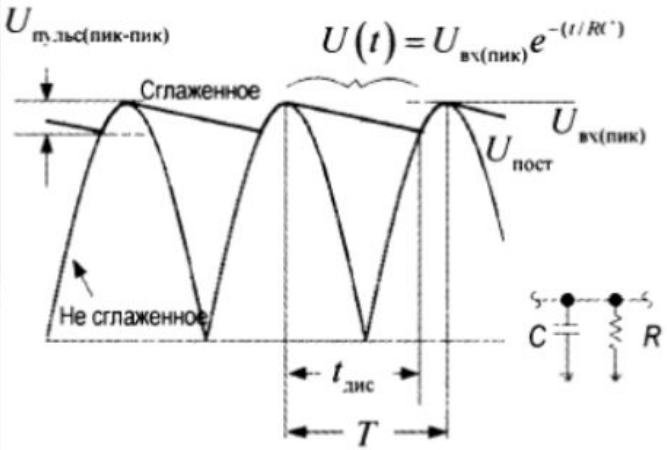
$$U_{\text{пульс(пик-пик)}} = \frac{U_{\text{вх(пик)}}T}{RC} = \frac{U_{\text{вх(пик)}}}{f \cdot RC}$$

Для синусоидального напряжения значение действующего напряжения определяется, разделив значение напряжения полного размаха на 2, а затем разделив полученный результат на √2. Но в данном случае форма сигнала более напоминает пилообразный сигнал, для которого коэффициент действующего напряжения составляет √3, что дает нам

$$U_{\text{пульс(действ)}} = \frac{U_{\text{вх(пик)}}}{2\sqrt{3}fRC}$$

$$U_{\text{пульс(действ)}} = \frac{0,0024}{RC}U_{\text{вх(пик)}}$$ Двухполупериодный выпрямитель (f = 120 Гц)

$$U_{\text{пульс(действ)}} = \frac{0,0048}{RC}U_{\text{вх(пик)}}$$ Однополупериодный выпрямитель (f = 60 Гц)



$f = \frac{1}{T}$ $t_{\text{дис}} \approx T$ для небольшой пульсации

$$\text{Коэффициент пульсации} = \frac{U_{\text{пульс(действ)}}}{U_{\text{пост}}}$$

Выражается простым или процентным отношением

Среднее постоянное напряжение равно приблизительно половине пикового напряжения минус 1/2 $U_{\text{пульс (пик-пик)}}$

$$U_{\text{пост}} = U_{\text{вх(пик)}} - \frac{U_{\text{пульс(пик-пик)}}}{2}$$

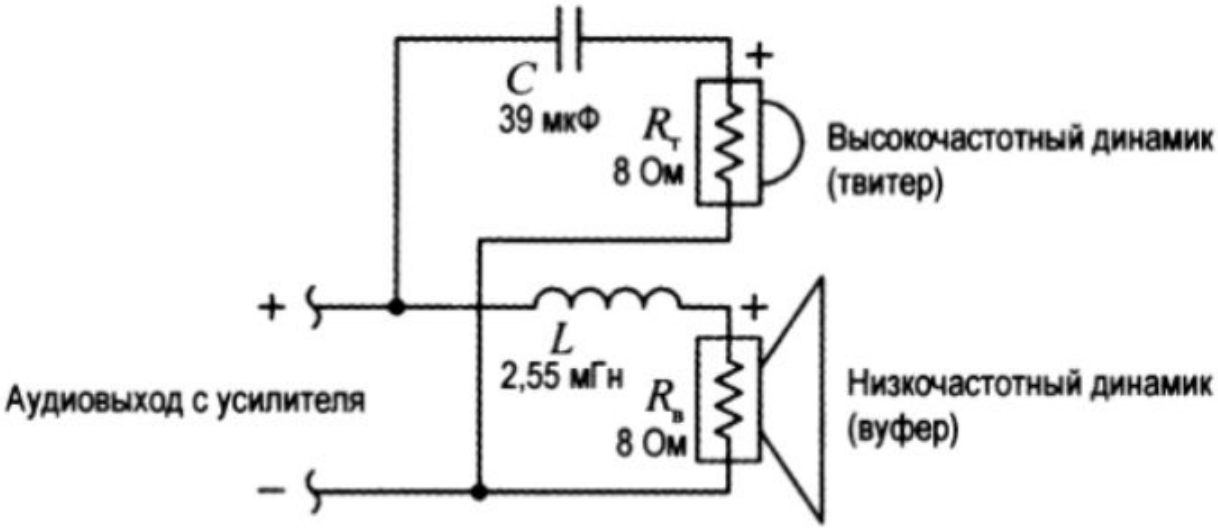
В тексте слева от графика объясняется, как вычислить $U_{\text{пульс (пик-пик)}}$. Таким образом.

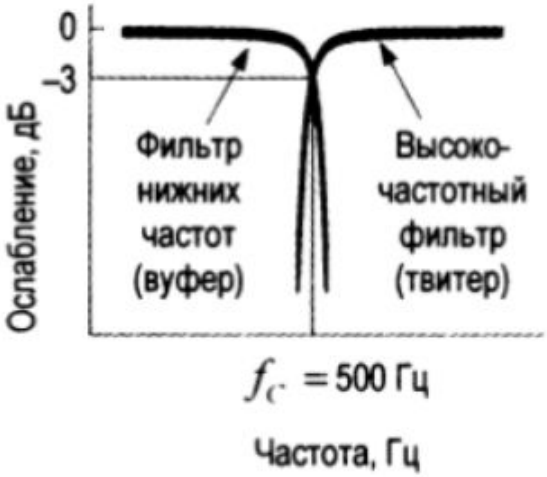
$$U_{\text{пост}} = U_{\text{вх(пик)}} - \frac{U_{\text{пульс(пик-пик)}}T}{2RC} = U_{\text{вх(пик)}} - \frac{U_{\text{пульс(пик-пик)}}}{2fRC}$$

Мы предположили, что для небольшой пульсации $t_{\text{дис}}$ равно приблизительно T. Постоянное напряжение для стандартных частот 120 и 60 Гц определяется с помощью следующих формул:

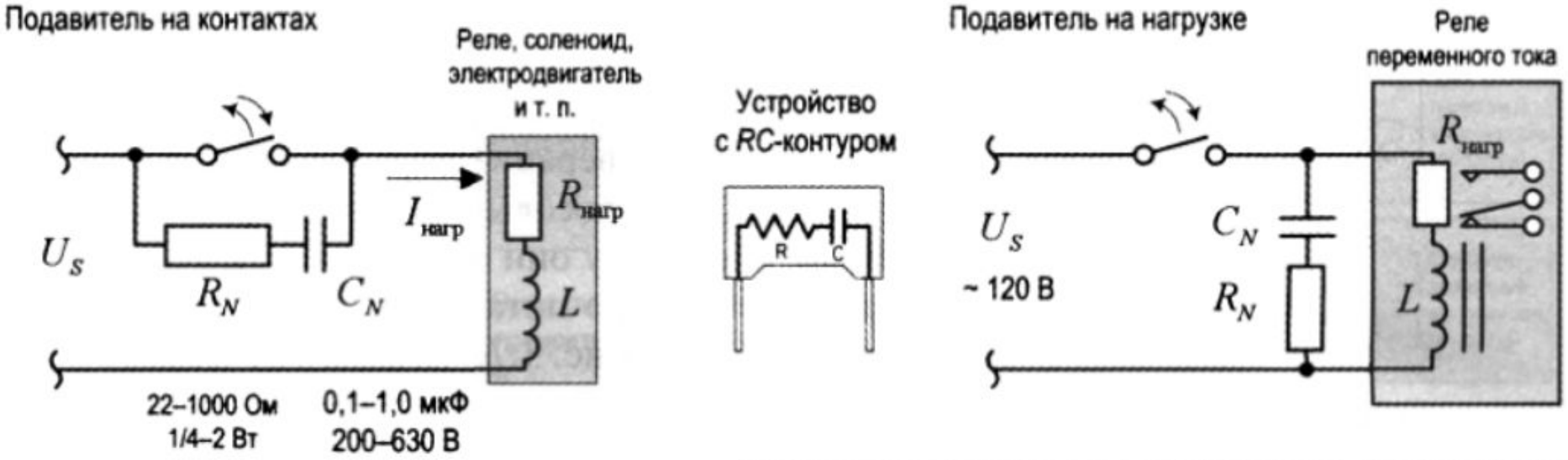
$$U_{\text{пост}} = U_{\text{вх(пик)}}\left[1-\frac{1}{240RC}\right]$$ Двухполупериодный выпрямитель (f = 120 Гц)

$$U_{\text{пост}} = U_{\text{вх(пик)}}\left[1-\frac{1}{120RC}\right]$$ Однополупериодный выпрямитель (f = 60 Гц)





$$L = \frac{R_в}{2\pi f_C} \quad C = \frac{1}{2\pi R_т f_C}$$

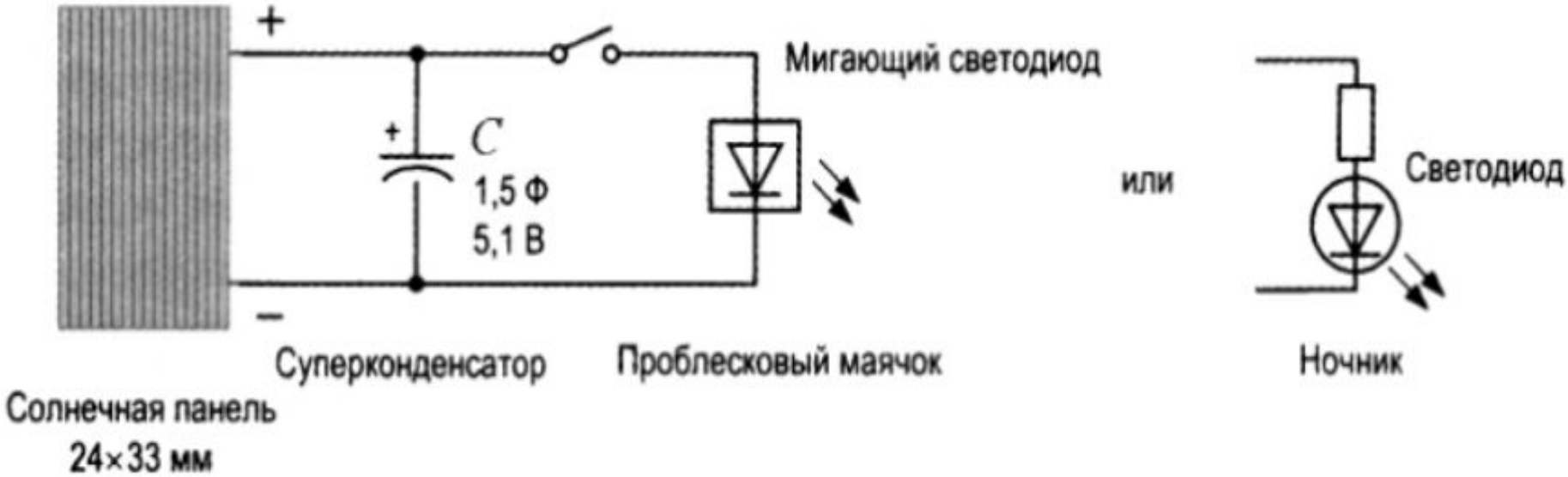


В функции *RC*-контура входит:

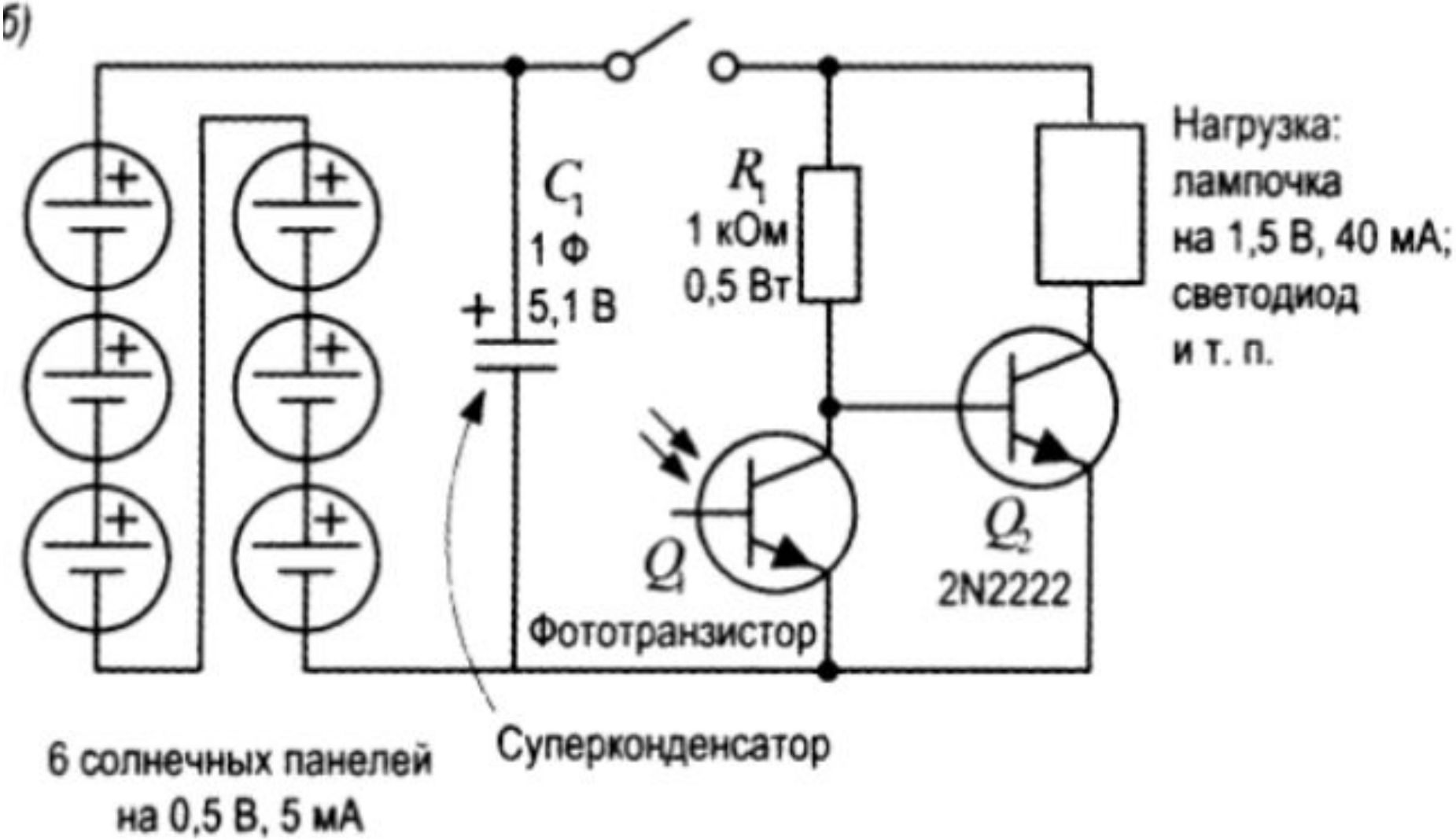
1. Не допускать на контактах напряжения выше 300 В; $C \leq (I_{нагр}/300)^2 L$.
2. Удерживать скорость изменения напряжения ниже 1 В/мкс; $C \geq I_{нагр} \cdot 10^6$.
3. Удерживать ток ниже уровней, указанных в таблице.

Материал контактов	Минимальное напряжение пробоя $U_п$, В	Минимальный ток пробоя $I_п$, мА
Серебро	12	400
Золото	15	400
Золотой сплав	9	400
Палладий	16	800
Платина	17,5	700

РИС. 3.77. Защита контактов от искрения и подавление электромагнитных помех. U_S — напряжение источника


+
Мигающий светодиод
C
1,5 Ф
5,1 В
или
Светодиод
–
Суперконденсатор
Проблесковый маячок
Ночник
Солнечная панель
24×33 мм

б)


C_1
1 Ф
5,1 В
R_1
1 кОм
0,5 Вт
Нагрузка:
лампочка
на 1,5 В, 40 мА;
светодиод
и т. п.
Q_1
Фототранзистор
Q_2
2N2222
6 солнечных панелей
на 0,5 В, 5 мА
Суперконденсатор

Поведение диода (или выпрямителя) относительно протекания электрического тока походит на работу однонаправленного вентиля и сравнимо с поведением обратного клапана для воды (рис. 4.13).

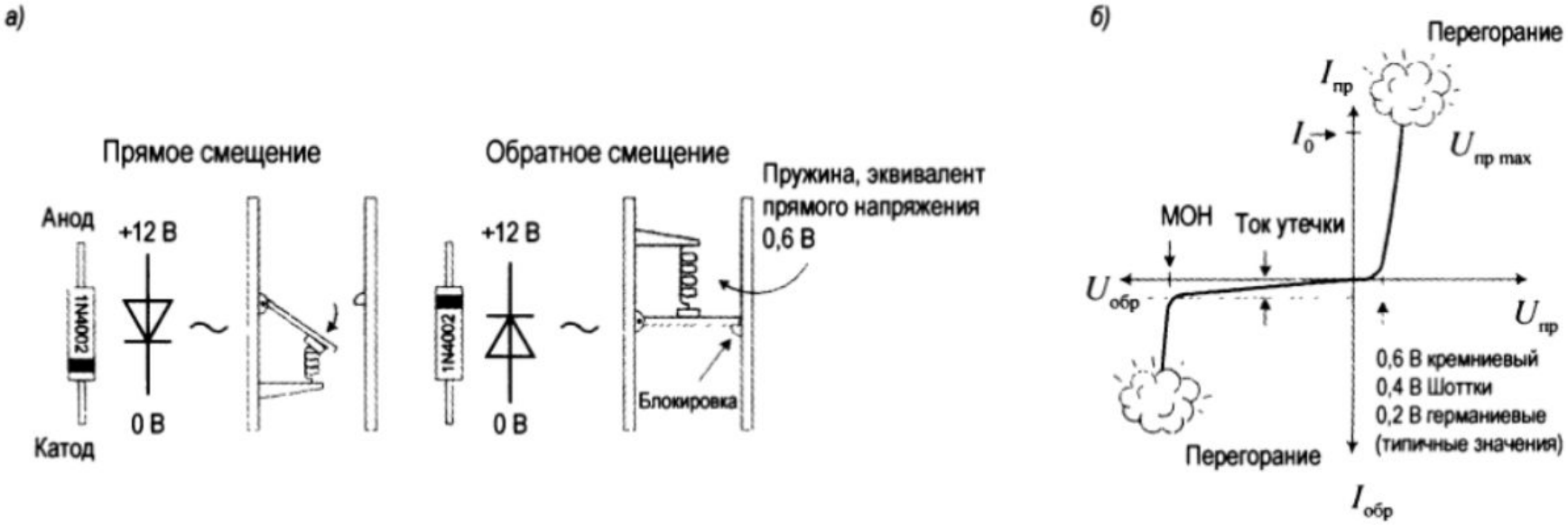
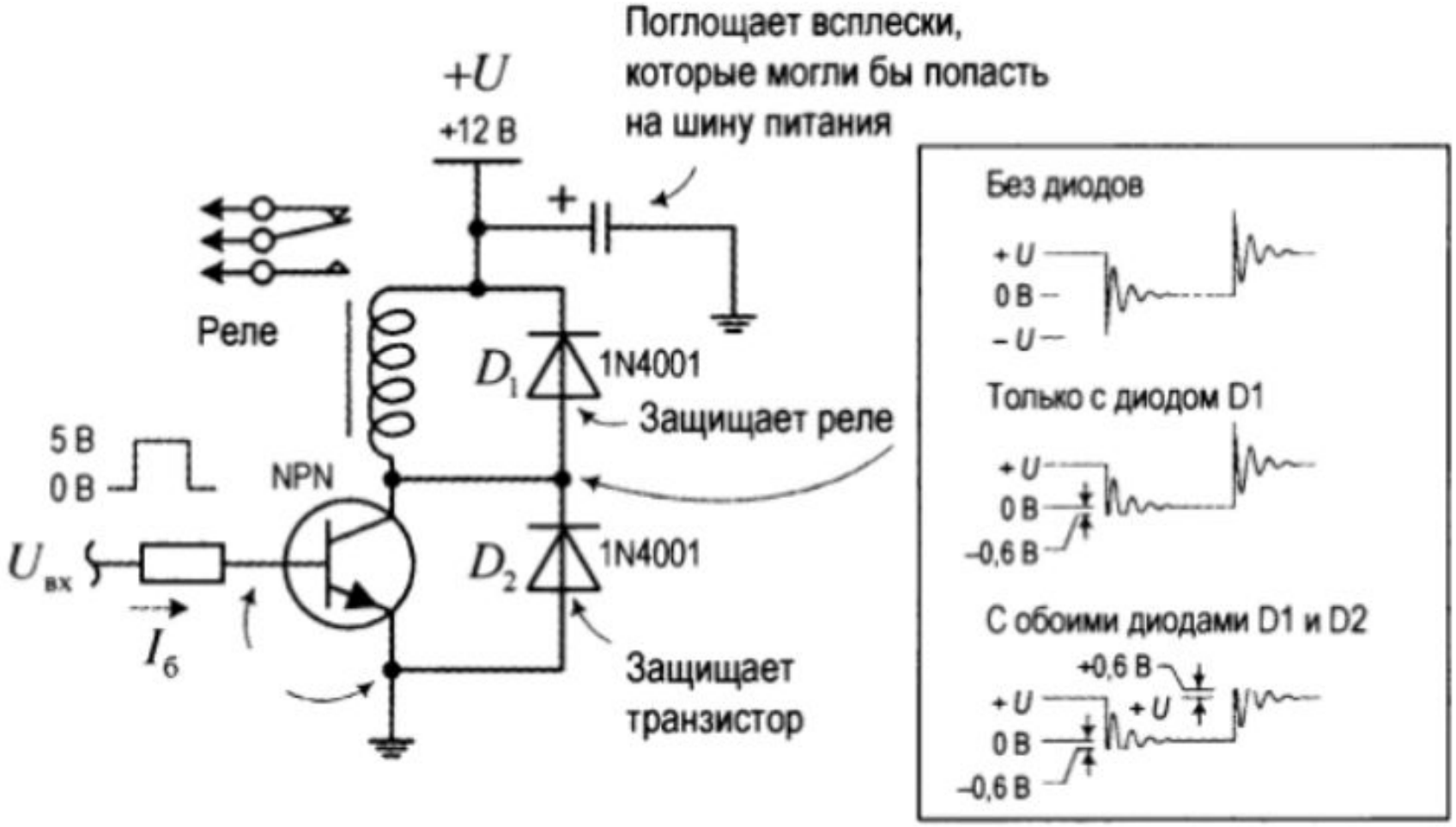
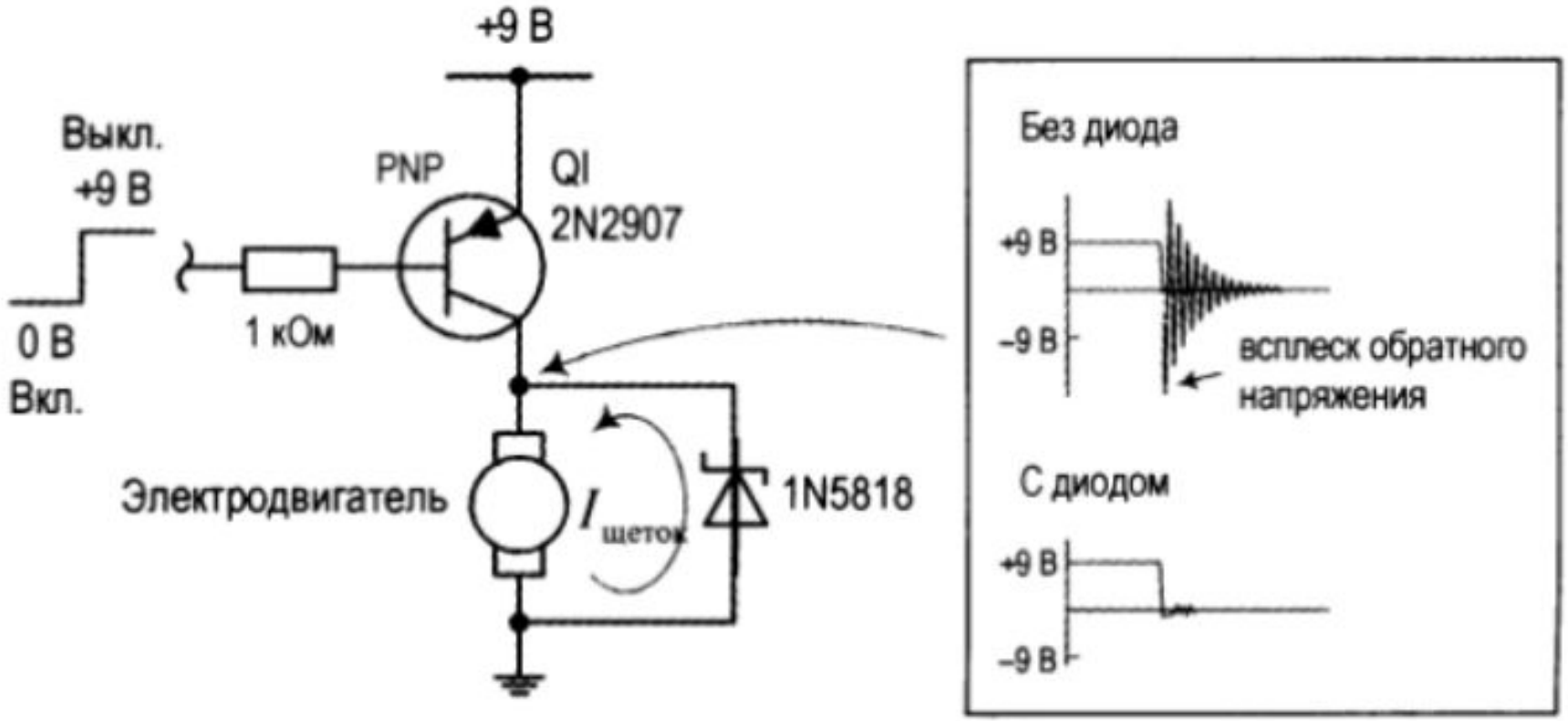


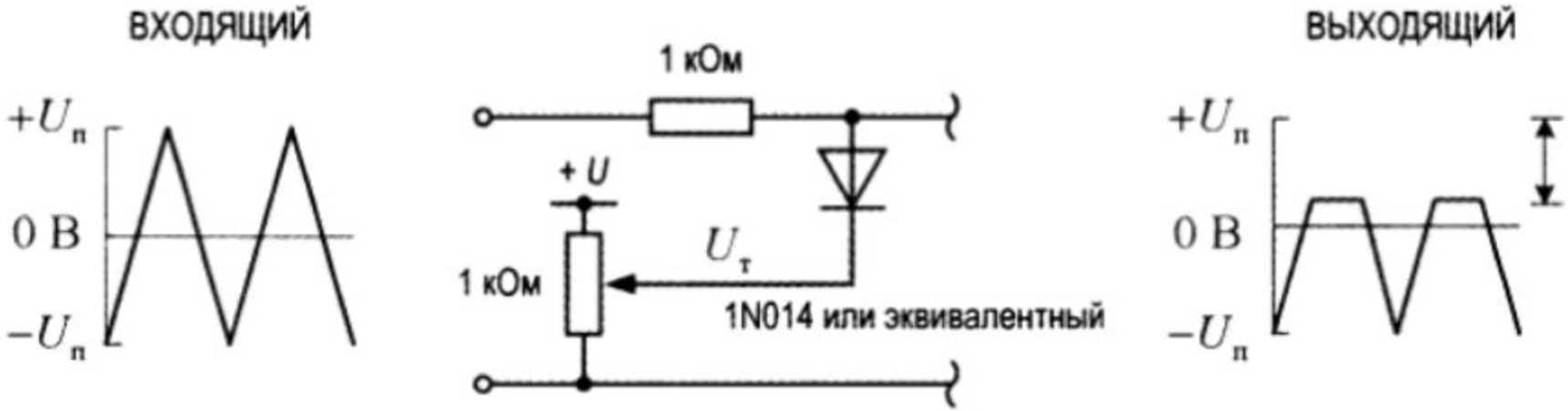
РИС. 4.13. Водяная аналогия диода (*а*) и кривая зависимости тока диода от напряжения (*б*). МОН — максимальное обратное напряжение; $I_{пр}$, $U_{пр}$ — ток и напряжение прямого смещения; $I_{обр}$, $U_{обр}$ — ток и напряжение обратного смещения

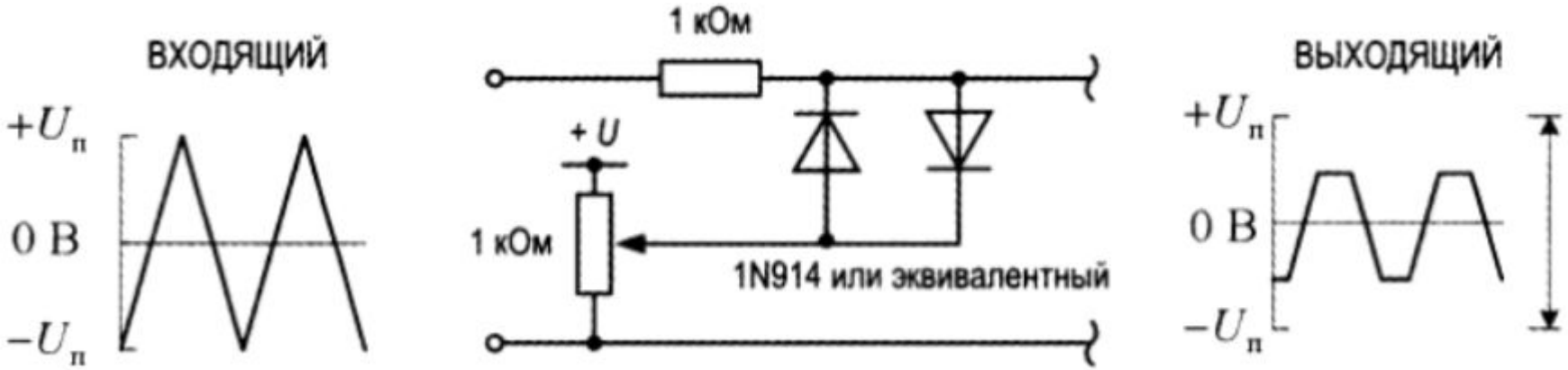


Реле вкл. при $U_{вх} = +5$ В и выкл. $U_{вх} = 0$ В

в)


+9 В
Выкл.
+9 В
PNP
Q1
2N2907
0 В
Вкл.
1 кОм
Электродвигатель
$I_{щеток}$
1N5818
Без диода
+9 В
–9 В
всплеск обратного напряжения
С диодом
+9 В
–9 В


ВХОДЯЩИЙ
+Uп
0 В
–Uп
1 кОм
+ U
1 кОм
Uт
1N014 или эквивалентный
ВЫХОДЯЩИЙ
+Uп
0 В
–Uп


ВХОДЯЩИЙ
+Uп
0 В
−Uп
1 кОм
+ U
1 кОм
1N914 или эквивалентный
ВЫХОДЯЩИЙ
+Uп
0 В
−Uп

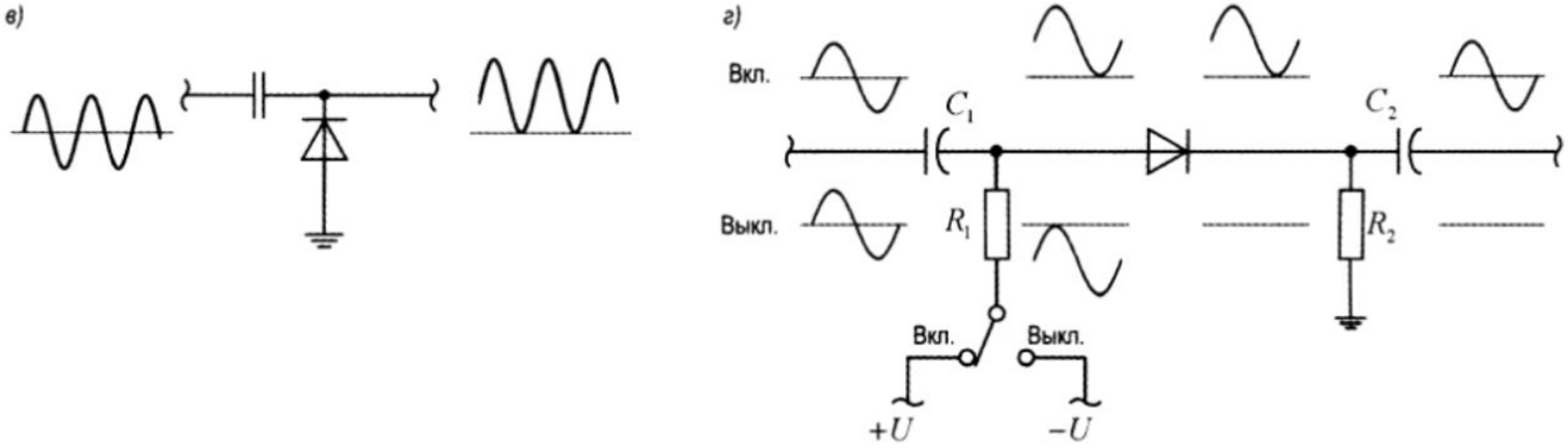


РИС. 4.19. Диодные фиксаторы уровня: *а* — регулируемый ограничитель сигнала; *б* — регулируемый аттенюатор; *в* — диодный фиксатор напряжения; *г* — диодный выключатель. $U_п$, $U_т$ — пиковое напряжение и напряжение среднего вывода потенциометра