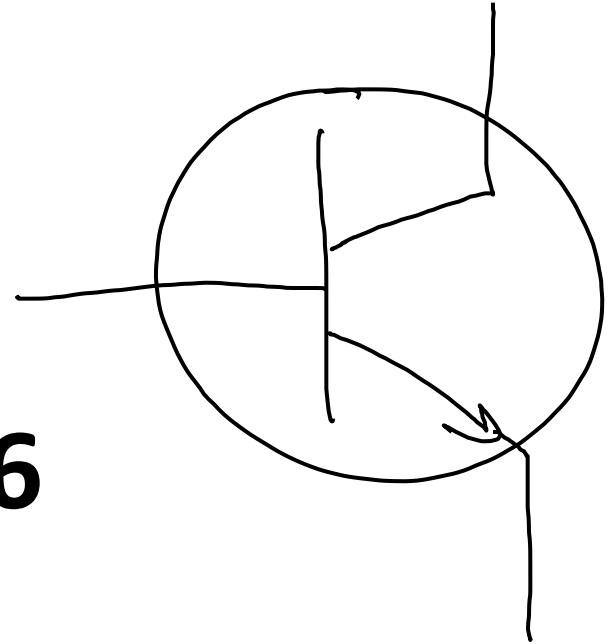
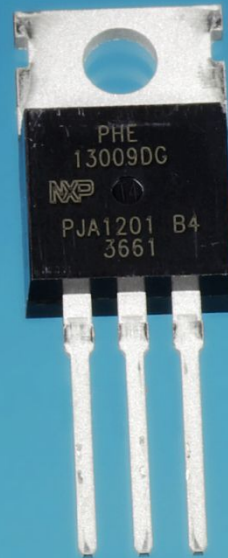
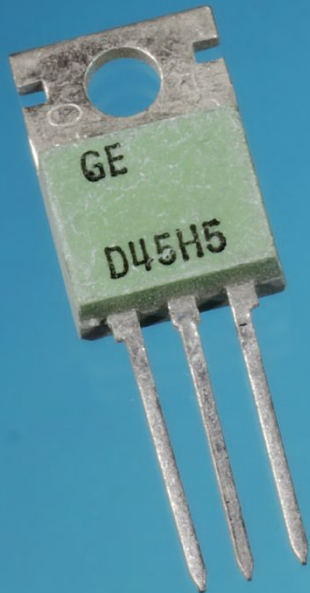


# ЛЕКЦИЯ 6



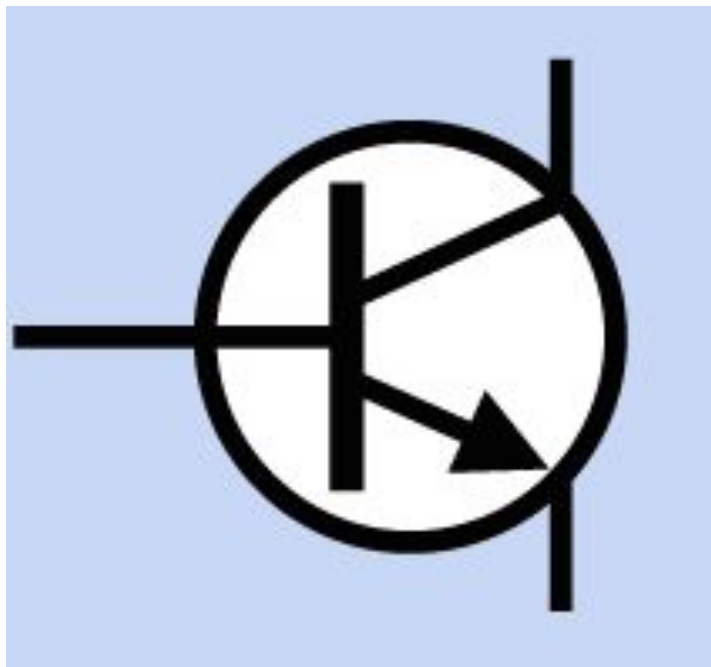
**ТРАНЗИСТОРЫ  
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ  
ТРАНЗИСТОРОВ ДИОДИОВ И  
КОНДЕНСАТОРОВ**

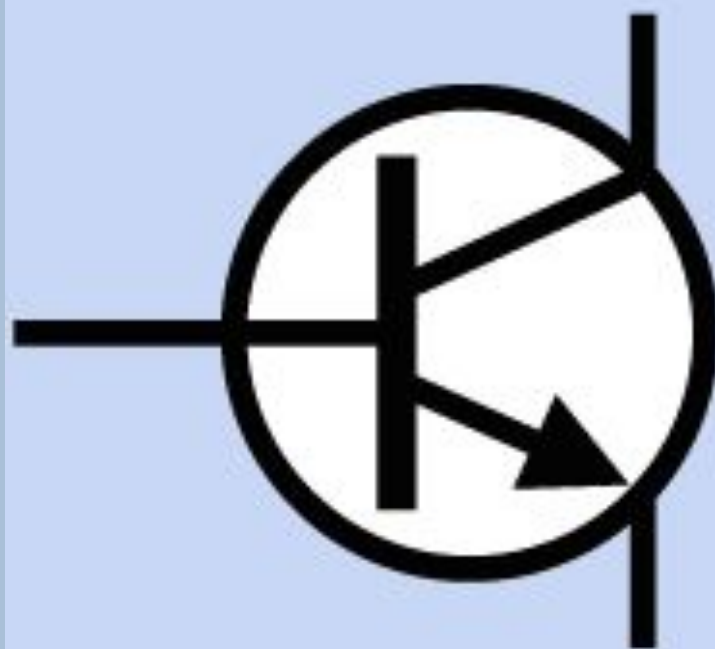




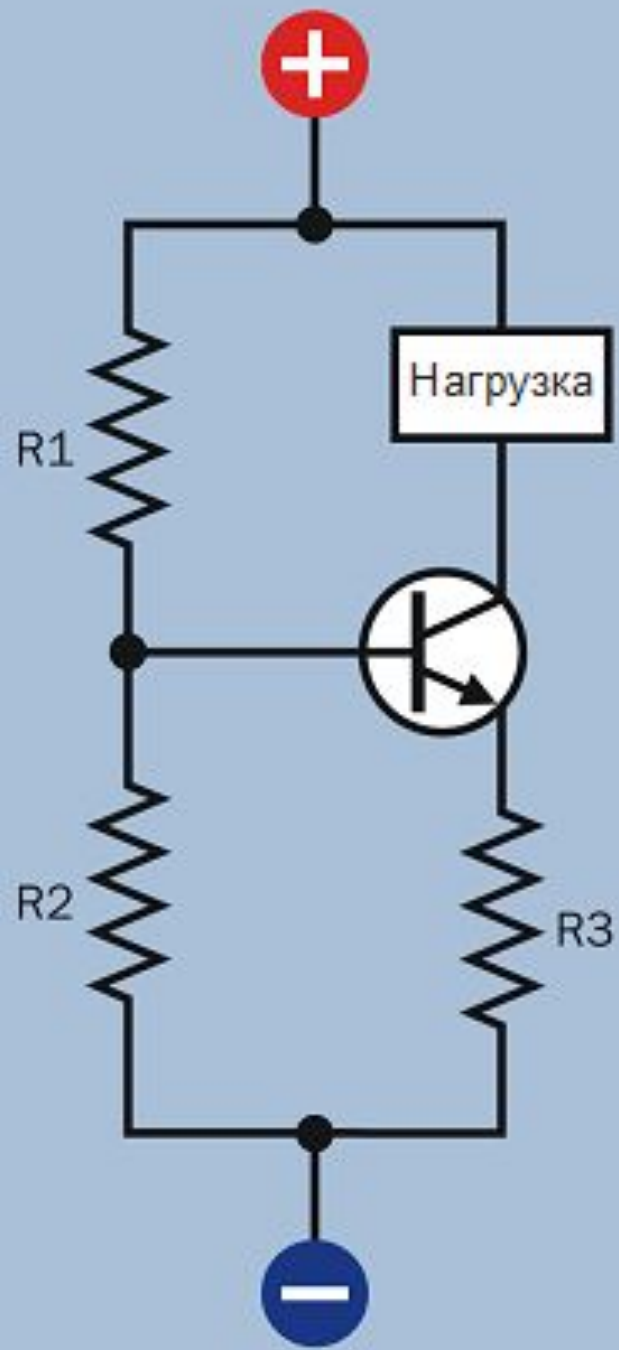
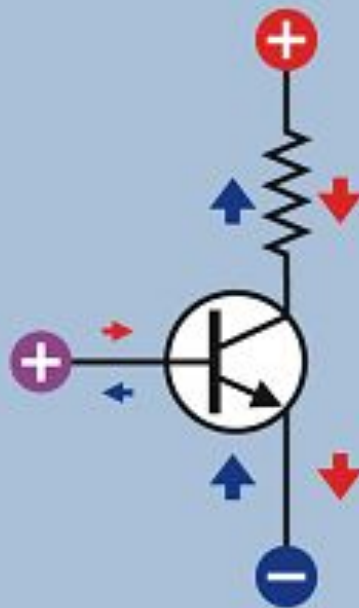
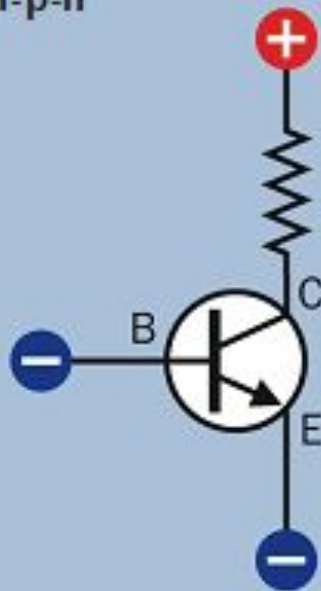
# БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР ТИПА

n-p-n

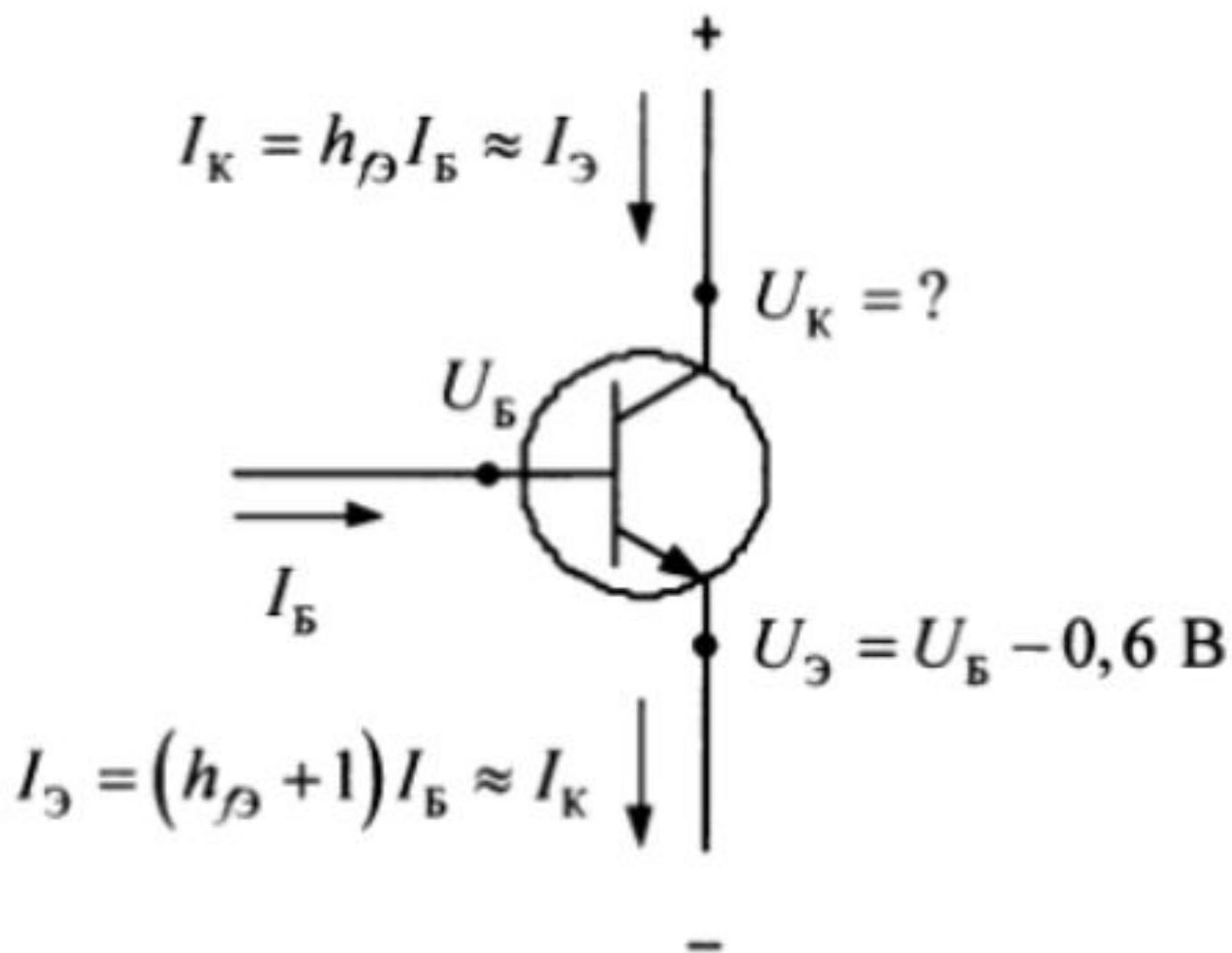




n-p-n

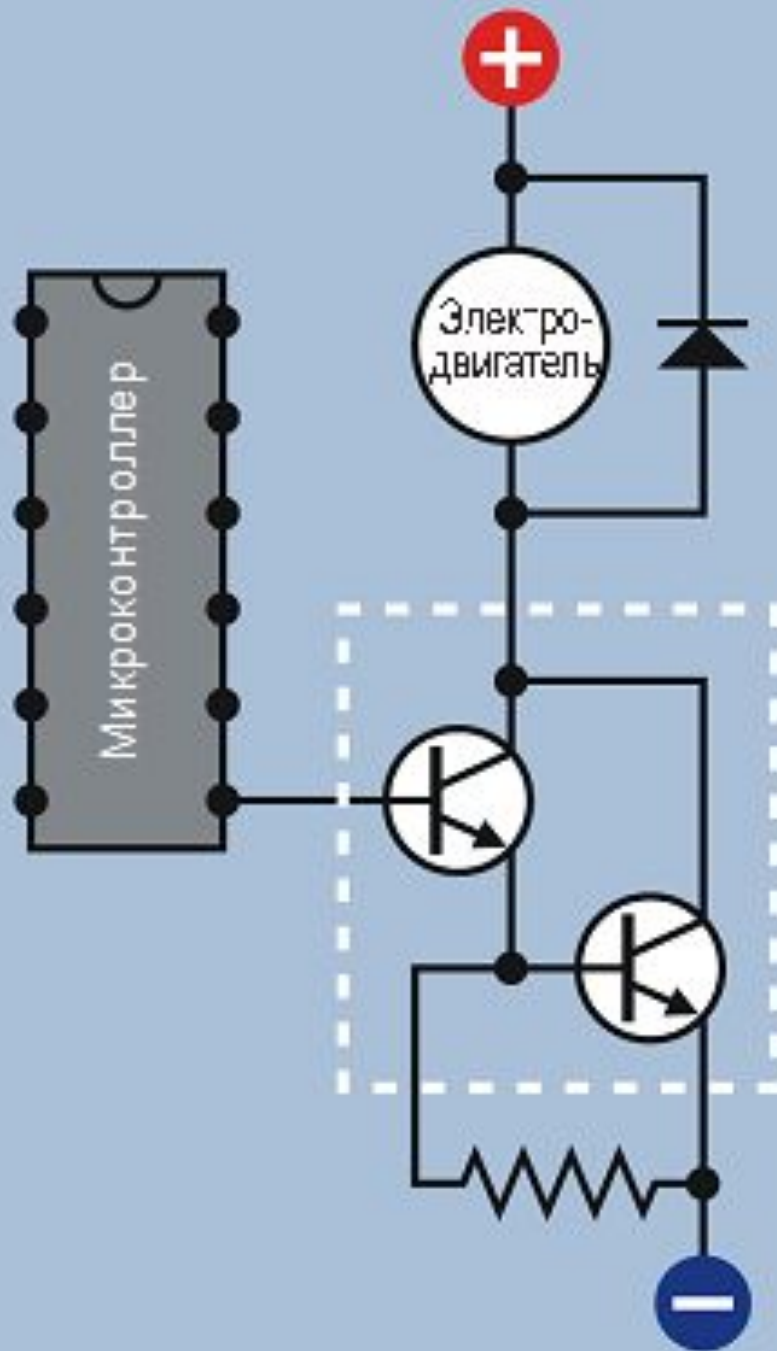


*n-p-n*



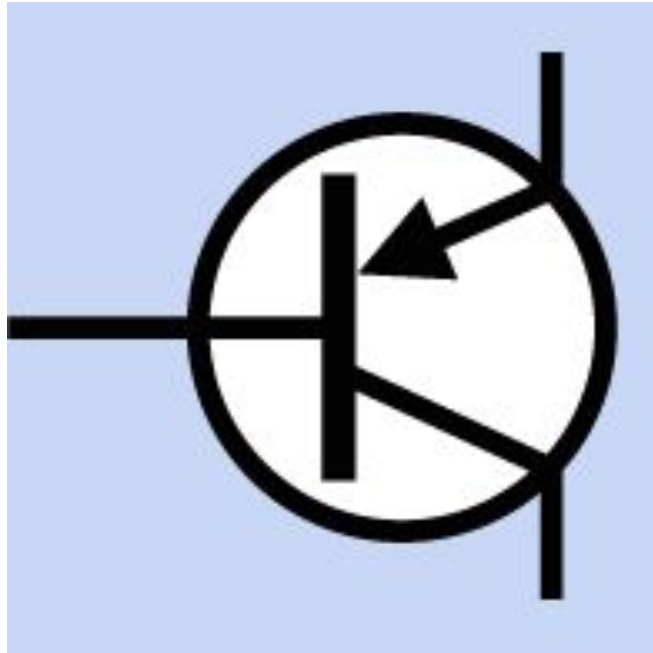
ПАРА  
ДАРЛИНГТОНА  
КОЭФФИЦИЕНТ  
УСИЛЕНИЯ ДО  
100 000

25мА  
МИКРОКОНТРОЛЛ  
ЕРА  
В ?

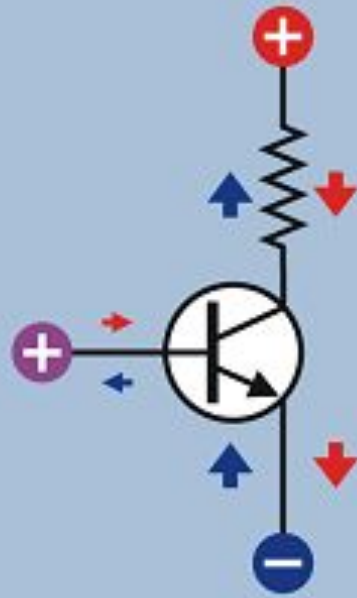
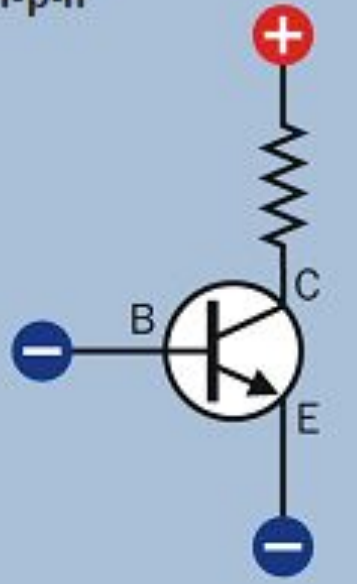


ЗАЧЕ  
М  
НУЖЕ  
Н  
ДИОД  
?

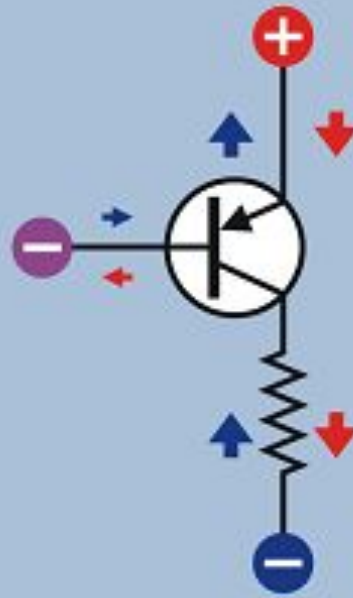
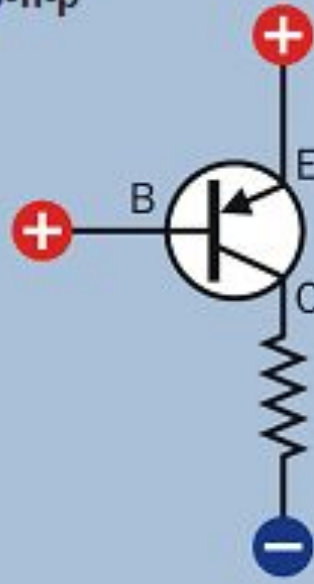




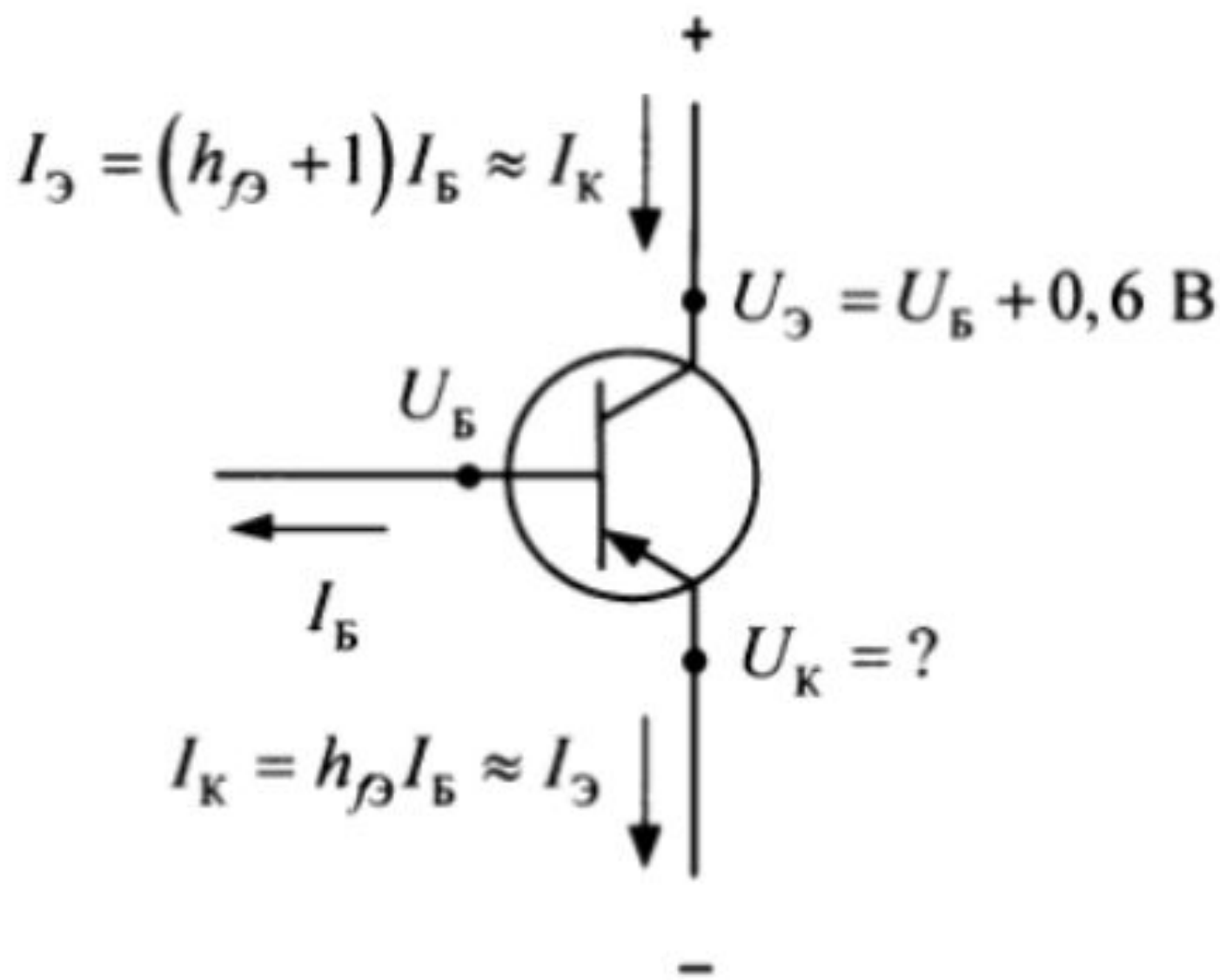
n-p-n

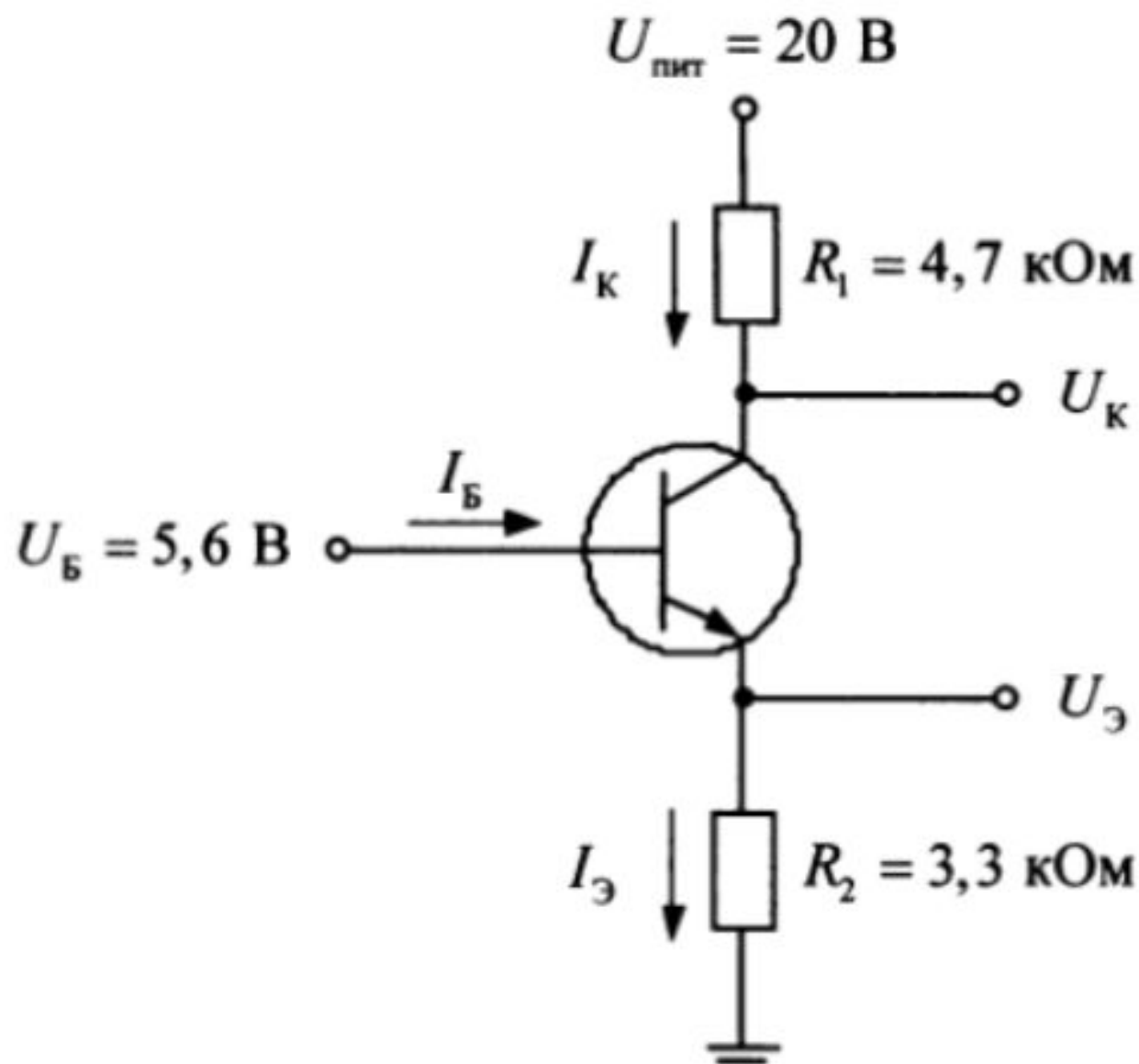


p-n-p



*p-n-p*





В схеме на рис. 4.49  $U_{\text{пит}} = +20 \text{ В}$ ,  $U_B = 5,6 \text{ В}$ ,  $R_1 = 4,7 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 3,3 \text{ кОм}$  и  $h_{\beta} = 100$ . Определить  $U_Э$ ,  $I_Э$ ,  $I_B$ ,  $I_K$  и  $U_K$ .

$$U_3 = U_B - 0,6 \text{ В};$$

$$U_3 = 5,6 \text{ В} - 0,6 \text{ В} = 5,0 \text{ В};$$

$$I_3 = \frac{U_3 - 0 \text{ В}}{R_2} = \frac{5,0 \text{ В}}{3300 \text{ Ом}} = 1,5 \text{ мА};$$

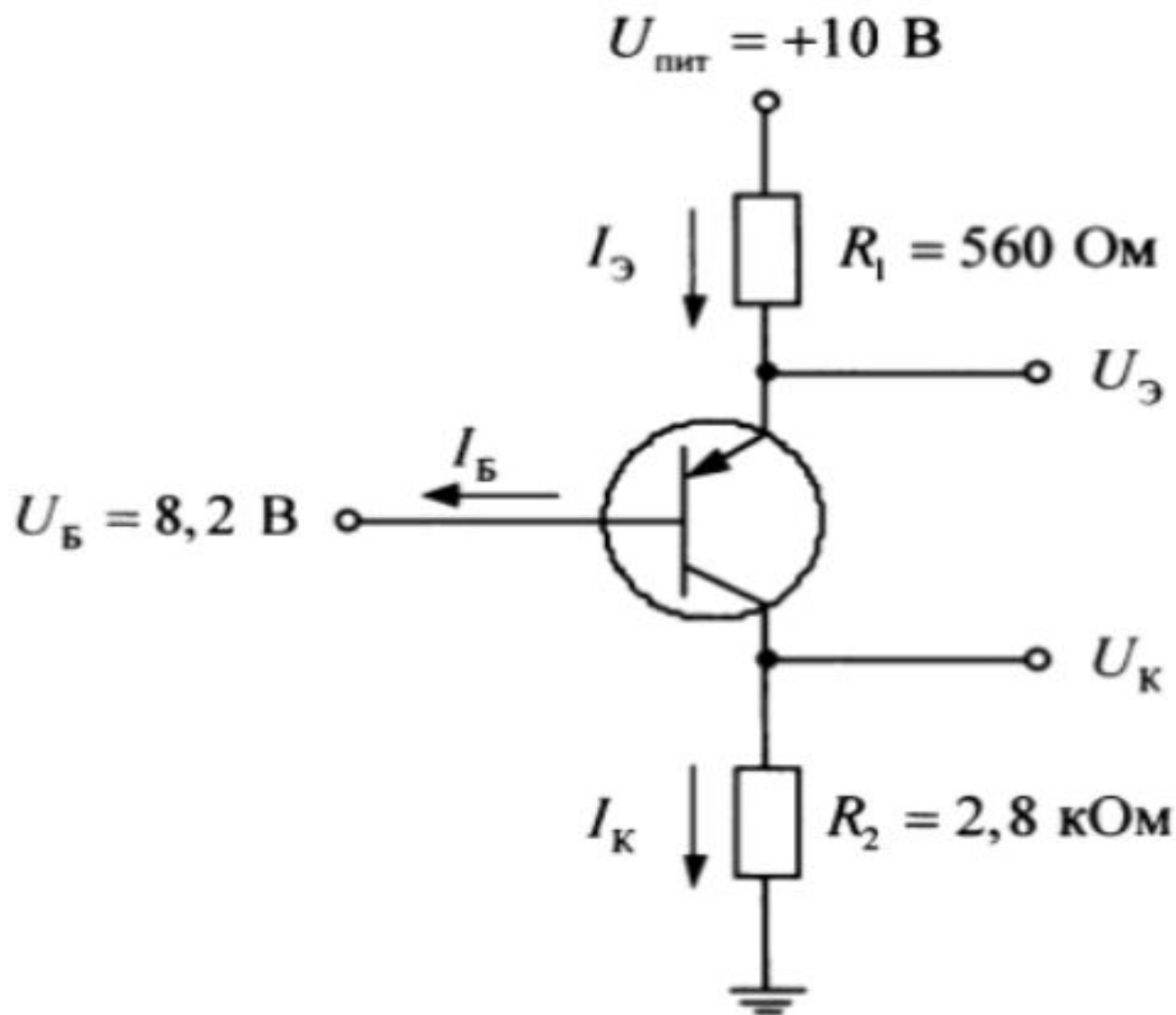
$$I_B = \frac{I_3}{1 + h_{\beta}} = \frac{1,5 \text{ мА}}{1 + 100} = 0,015 \text{ мА};$$

$$I_K = I_3 - I_B \approx I_3 = 1,5 \text{ мА};$$

$$U_K = U_{\text{пит}} - I_K R_1;$$

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

$$U_K = 13 \text{ В}.$$



В схеме на рис. 4.49  $U_{\text{пит}} = +10 \text{ В}$ ,  $U_B = 8,2 \text{ В}$ ,  $R_1 = 560 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2,8 \text{ кОм}$ ,  $h_{\beta} = 100$ . Определите  $U_3$ ,  $I_3$ ,  $I_B$ ,  $I_K$  и  $U_K$ .

$$U_3 = U_B + 0,6 \text{ В};$$

$$U_3 = 8,2 \text{ В} + 0,6 \text{ В} = 8,8 \text{ В};$$

$$I_3 = \frac{U_{\text{пит}} - U_3}{R_1} = \frac{10 \text{ В} - 8,8 \text{ В}}{560 \text{ Ом}} = 2,1 \text{ мА};$$

$$I_B = \frac{I_3}{1 + h_{\beta}} = \frac{2,1 \text{ мА}}{1 + 100} = 0,02 \text{ мА};$$

$$I_K = I_3 - I_B \approx I_3 = 2,1 \text{ мА};$$

$$U_K = 0 \text{ В} - I_K R_2;$$

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

$$U_K = 5,9 \text{ В}.$$

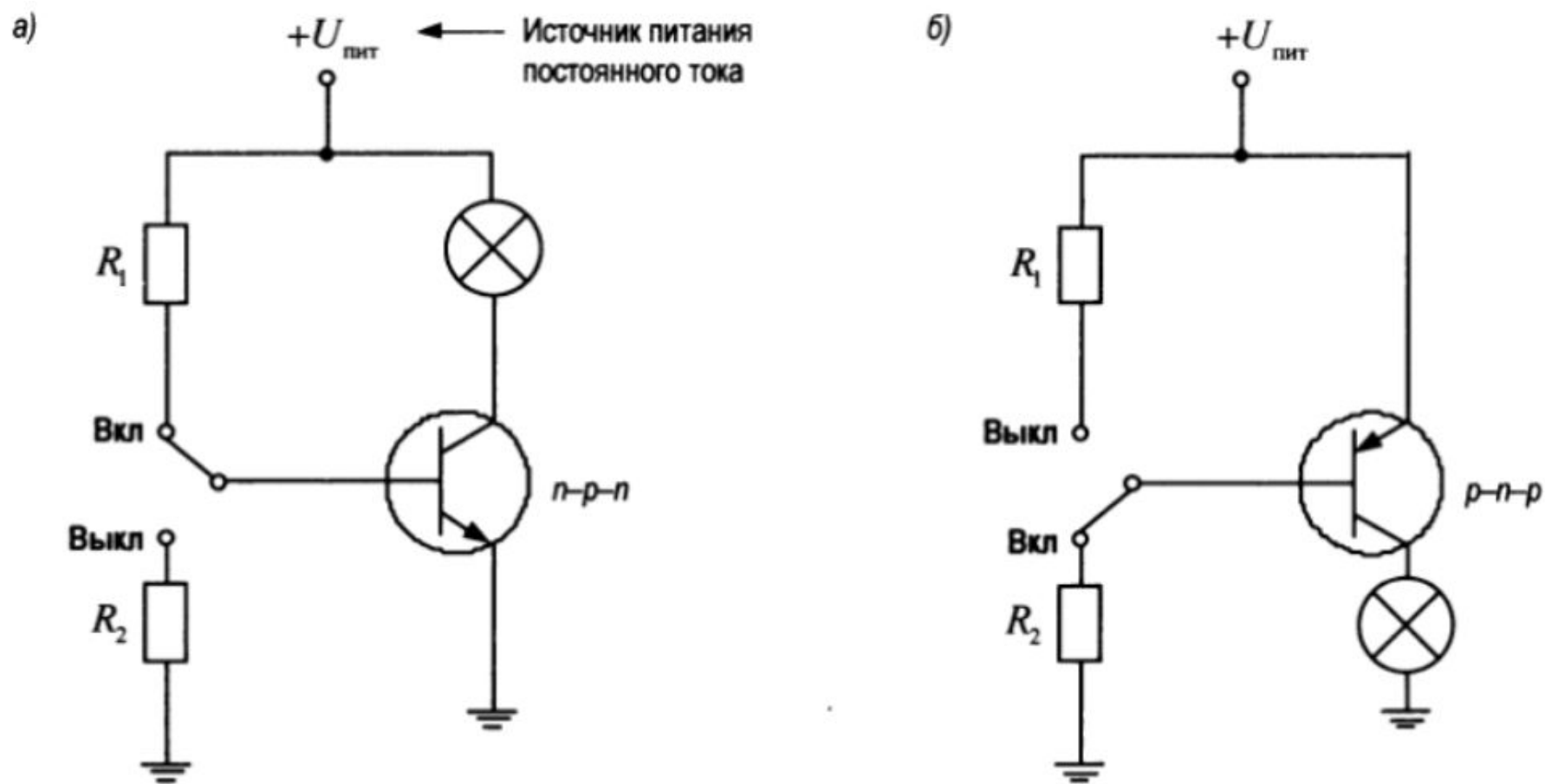
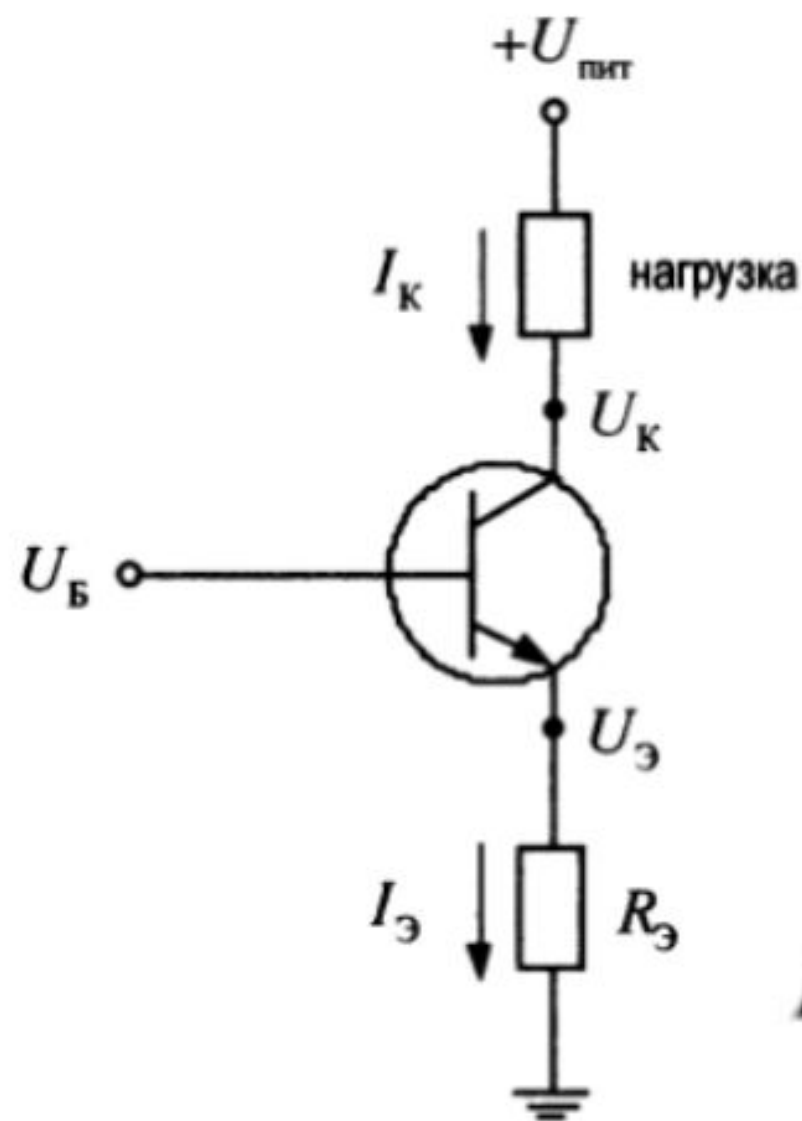


РИС. 4.52. Транзисторный переключатель: а — на транзисторе  $n-p-n$ -типа; б — на транзисторе  $p-n-p$ -типа



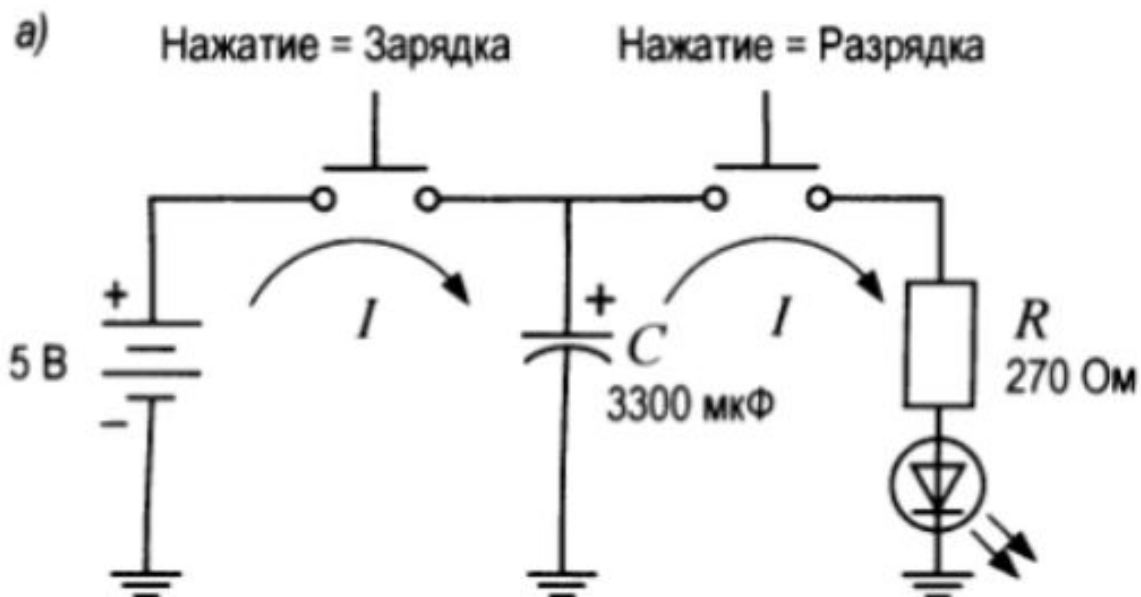


$$U_Э = U_B - 0,6 \text{ В}$$

$$I_Э = \frac{U_Э}{R_Э}$$

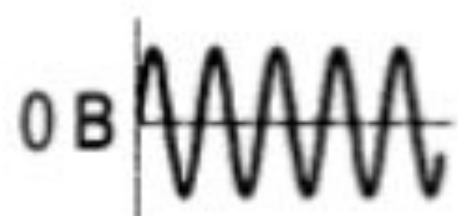
$$I_K \approx I_Э \text{ (для больших } h_{FE} \text{)}$$

$$I_K = I_{нагр} \frac{U_B - 0,6 \text{ В}}{R_Э}$$



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

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



Переменный ток



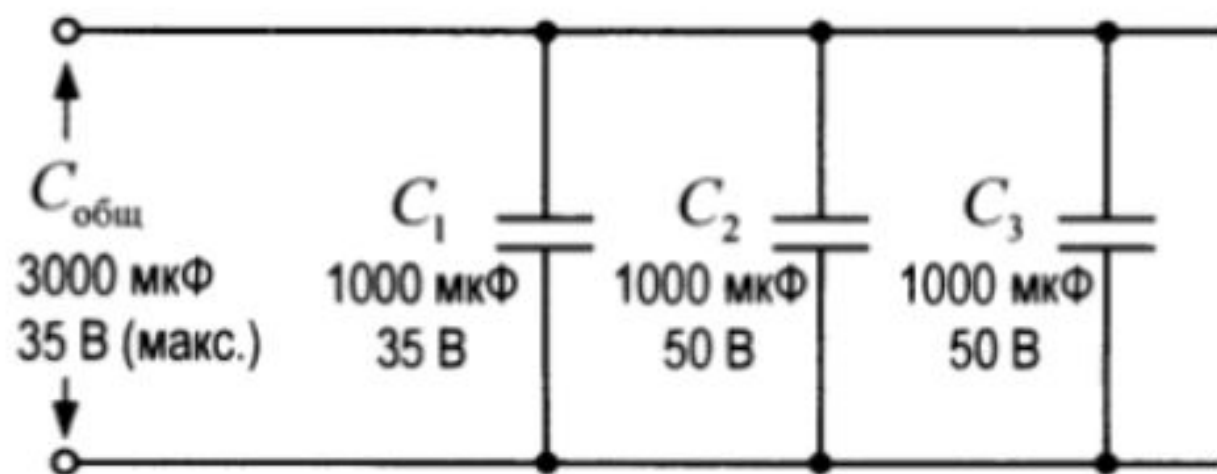
Постоянный ток



Конденсатор сохраняет положительное пиковое напряжение

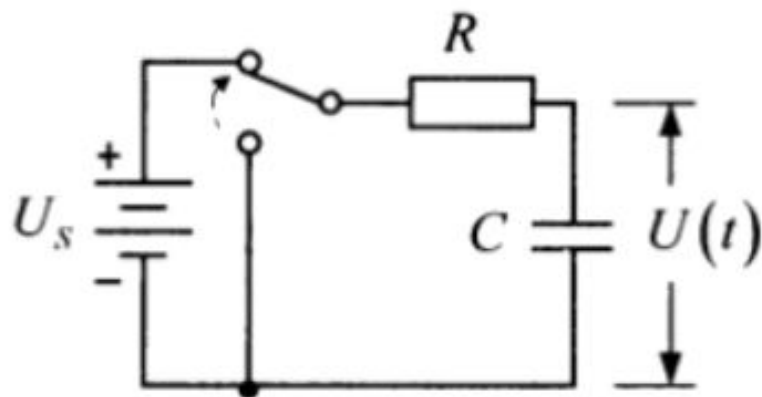


- a) Повышает общую емкость, но ограничивает максимальное номинальное напряжение наименьшим номинальным напряжением среди всех конденсаторов



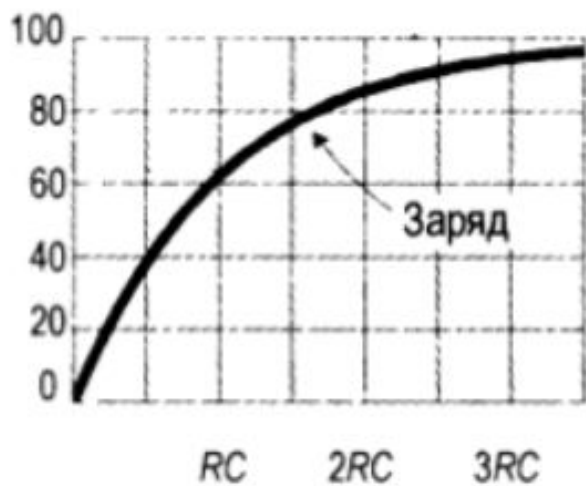
$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

### Зарядка конденсатора



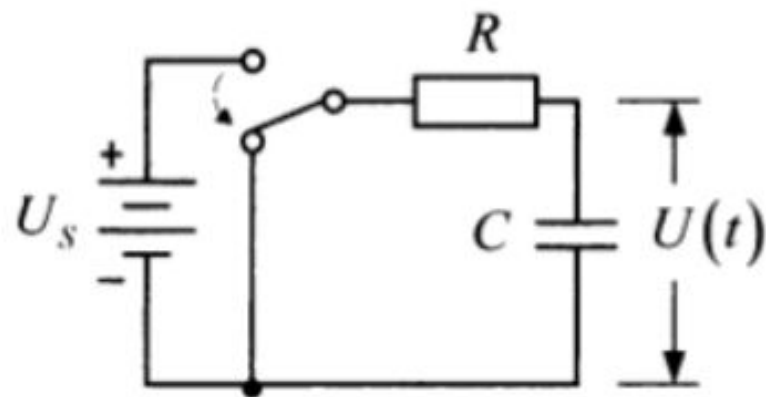
$$U(t) = U_s (1 - e^{-t/RC})$$

Напряжение на конденсаторе, %



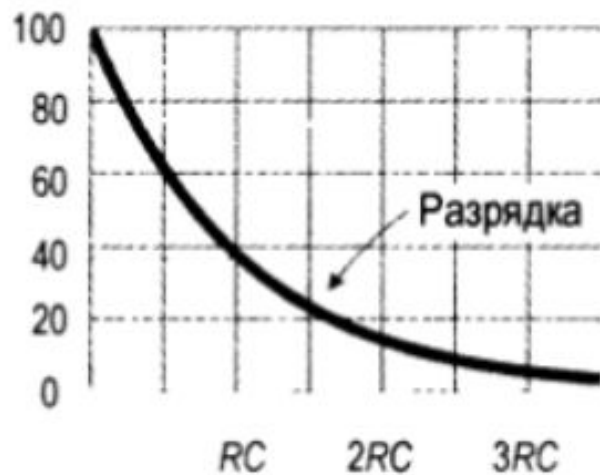
Время, с

### Разрядка конденсатора



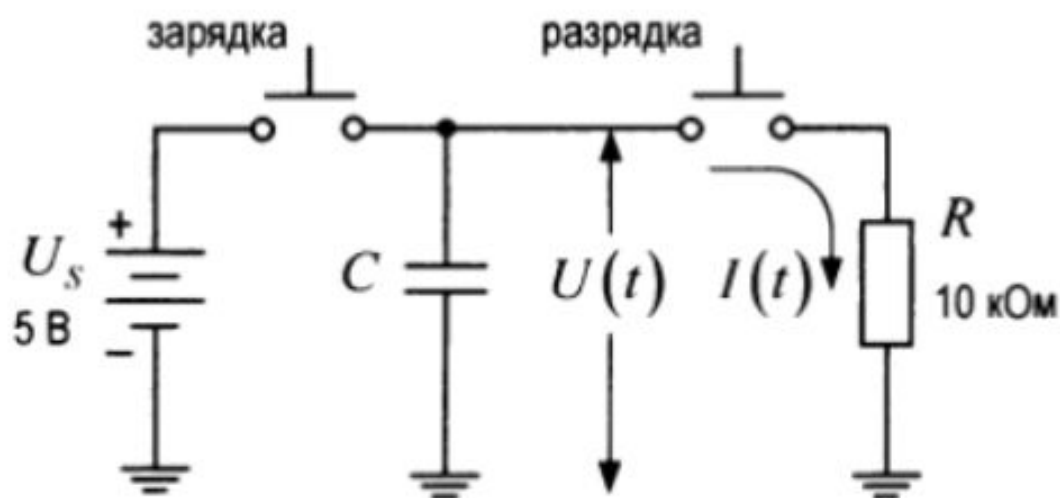
$$U(t) = U_s e^{-t/RC}$$

Напряжение на конденсаторе, %



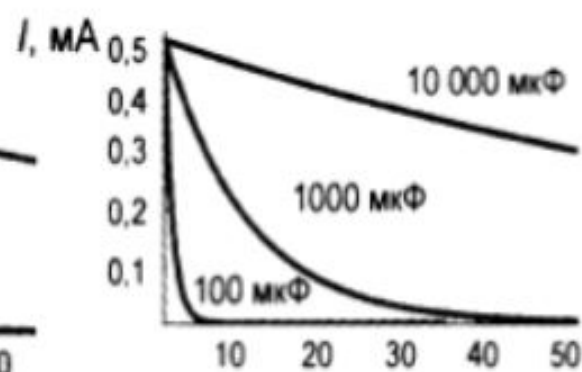
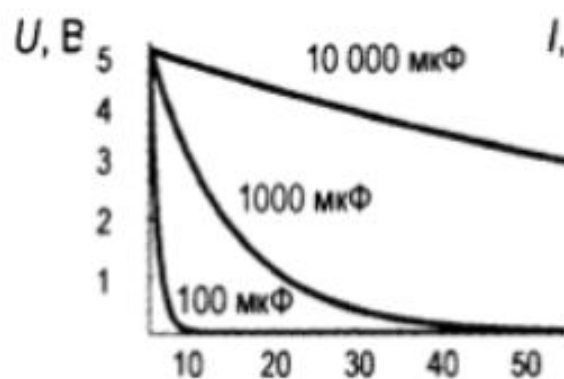
Время, с

100 мкФ, 1000 мкФ, 10 000 мкФ разрядка



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

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



Время, с

Время, с

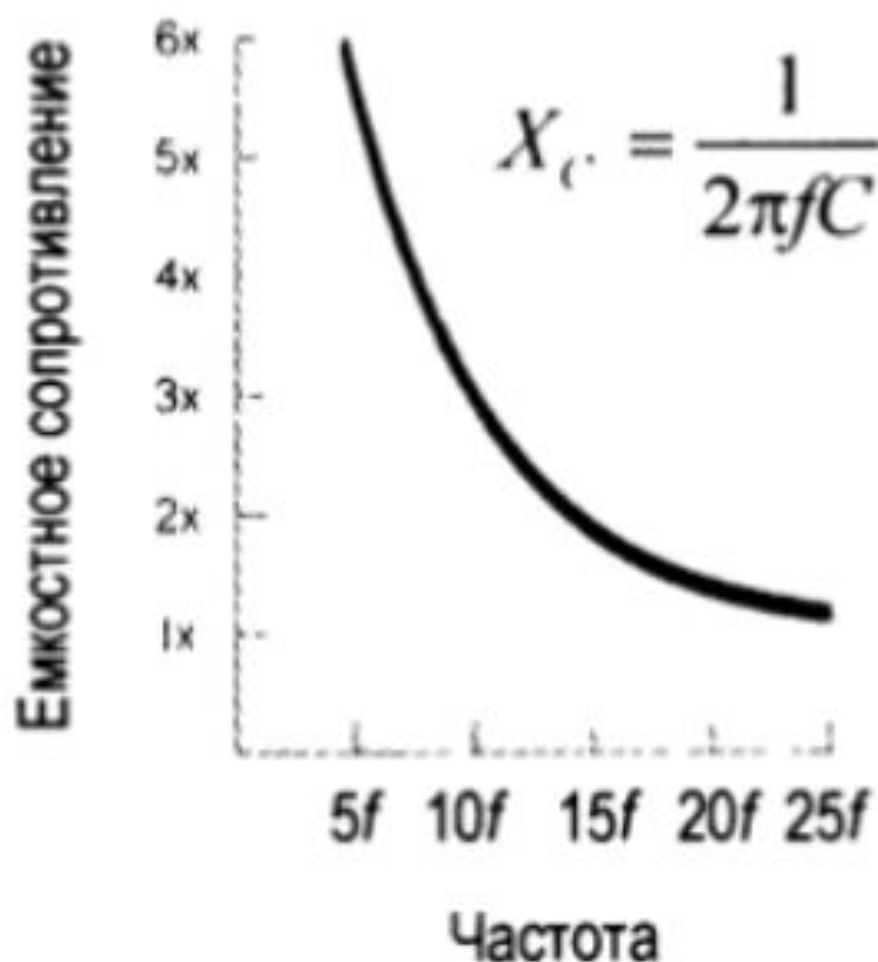
Накопленная энергия  $E_{\text{конд}} = 0,5CU^2$

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:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC},$$

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



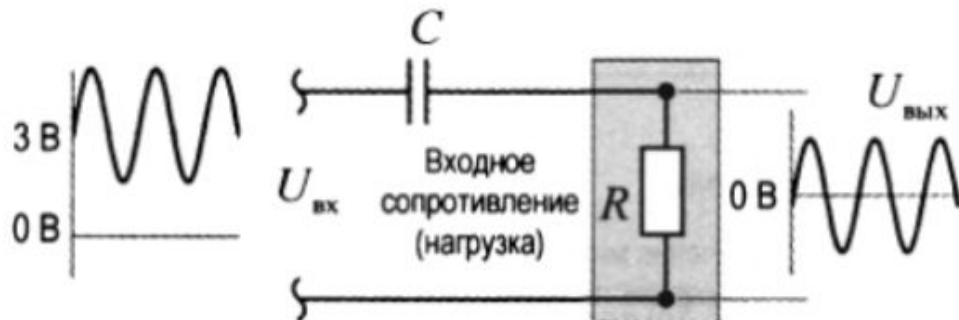


Идеальное отношение реактивного сопротивления к частоте для постоянного конденсатора

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

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

Иллюстрация блокировки сигнала постоянного тока



Зависимость ослабления сигнала от частоты

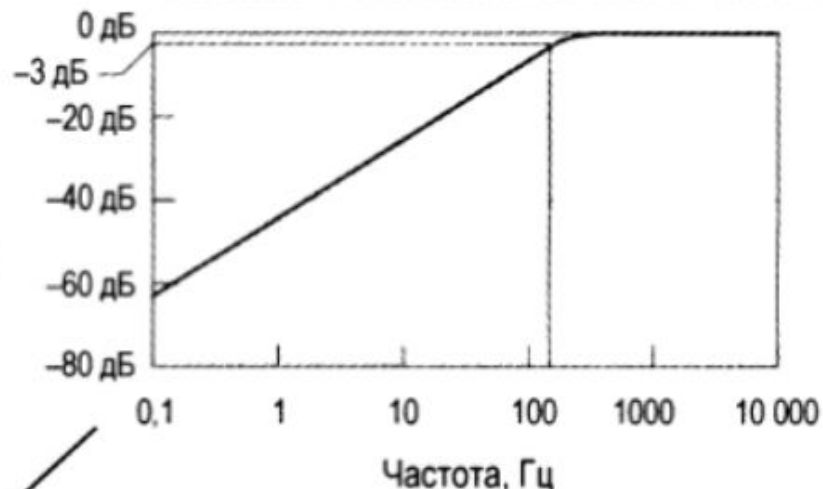
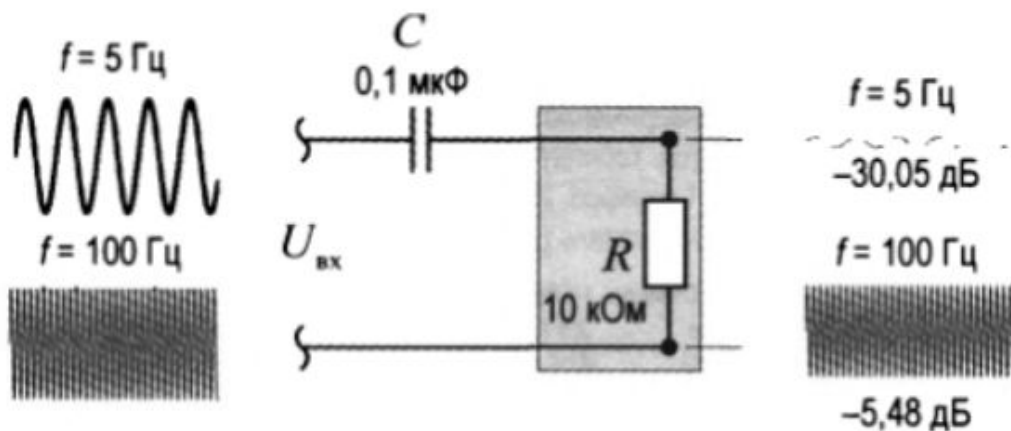


Иллюстрация связи по переменному току (высокочастотный фильтр)



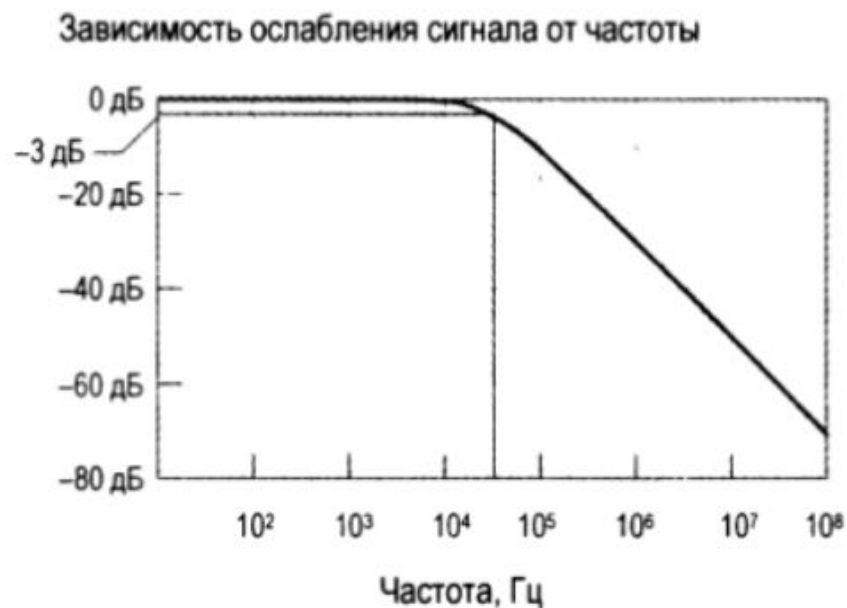
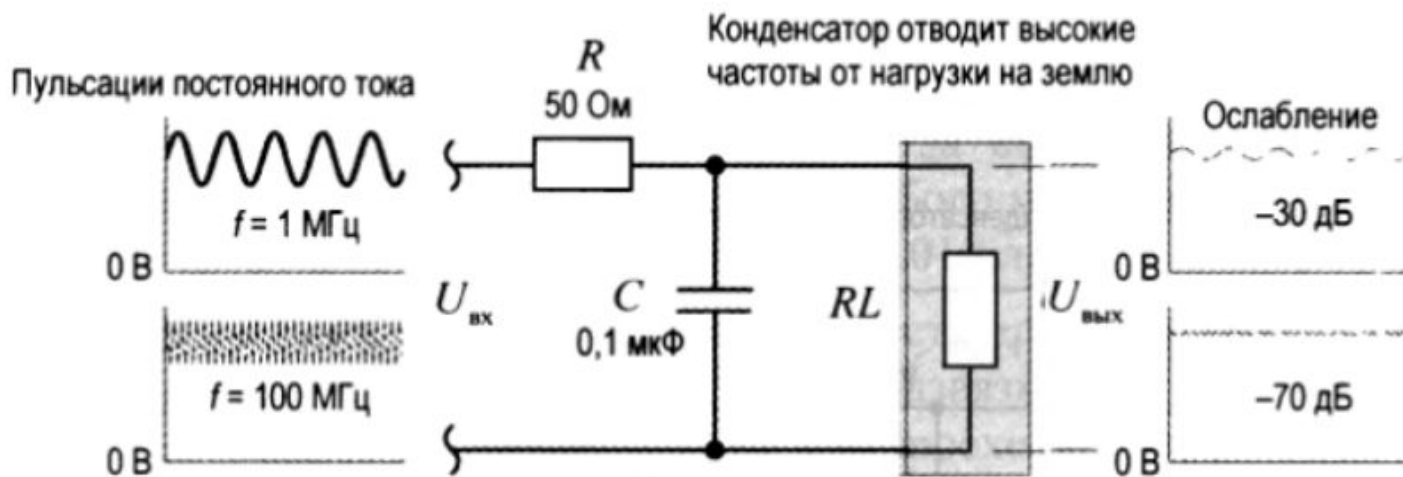
Частота среза (частота -3 дБ)

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

Ослабление

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

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



$$f_{-3 \text{ дБ}} = 32 \text{ кГц}$$

Частота среза (частота -3 дБ)

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

Ослабление

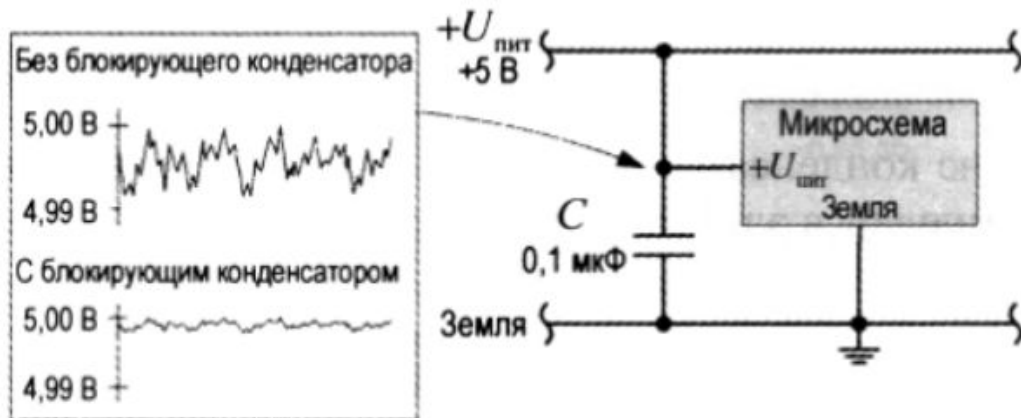
$$A = \left| \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}}$$

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

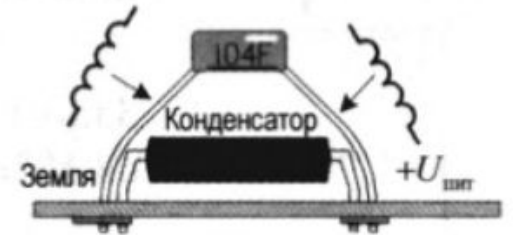
Сдвиг по фазе

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

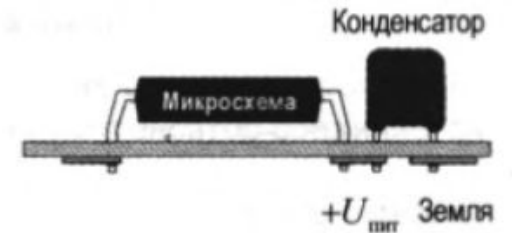
### Отвод нежелательных колебаний источника питания на землю



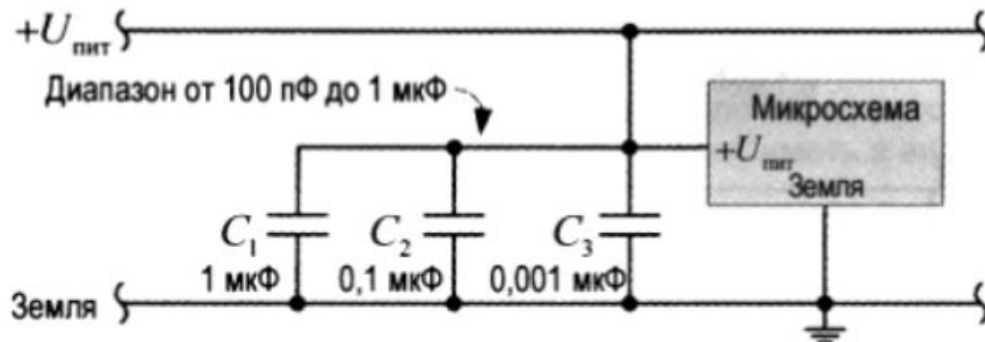
Высокая индуктивность выводов (плохо)



Лучше, чтобы выводы были короткими

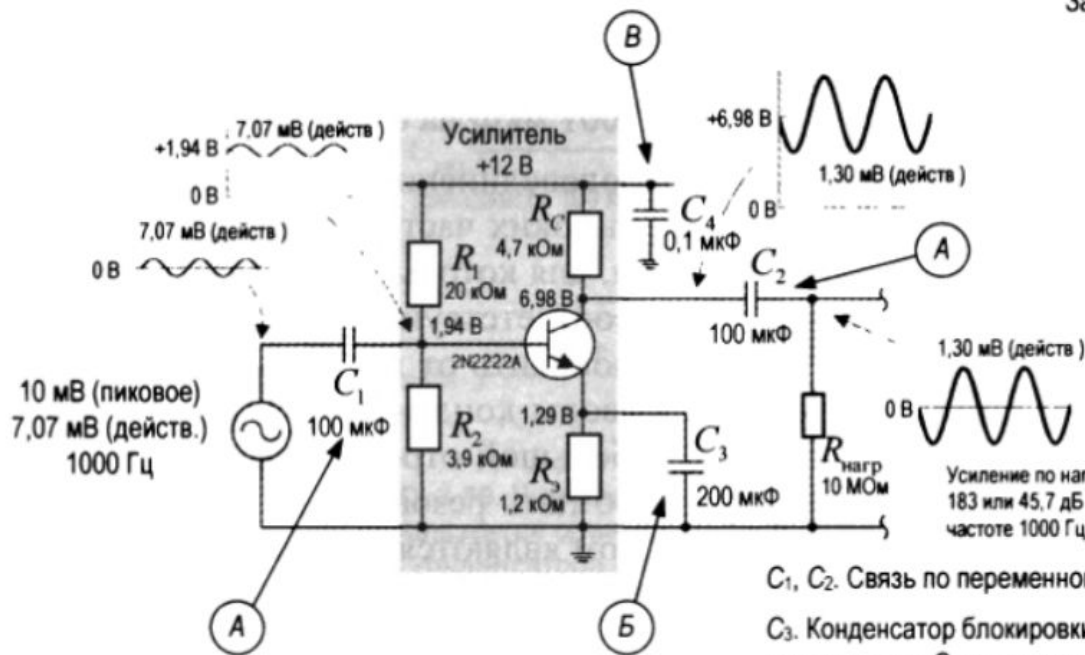


### Несколько блокирующих конденсаторов для составных колебаний источника питания

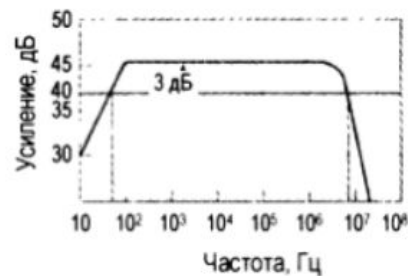


В этом плане идеальны конденсаторы для поверхностного монтажа





Зависимость усиления от частоты



$f_n = 50$  Гц (низкий предел)  
 $f_v = 7$  МГц (высокий предел)

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

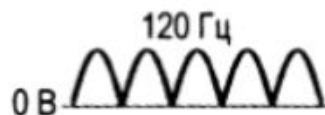
$C_3$ . Конденсатор блокировки переменного тока. На частотах, при которых импеданс  $X_C$  конденсатора  $C_3$  меньше, чем сопротивление эмиттерного резистора  $R_3$ , конденсатор  $C_3$  пропускает сигнал переменного тока через себя на землю и удаляет резистор  $R_3$  из цепи. Это устраняет отрицательную обратную связь, которая возникает при постоянном токе и повышает усиление переменного тока.

$C_4$ . Конденсатор для развязки источника питания.

Без конденсатора фильтра

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

$$U_{\text{пост}} = 0,9 \cdot 10 \text{ В} = 9 \text{ В}$$



С конденсатором фильтра

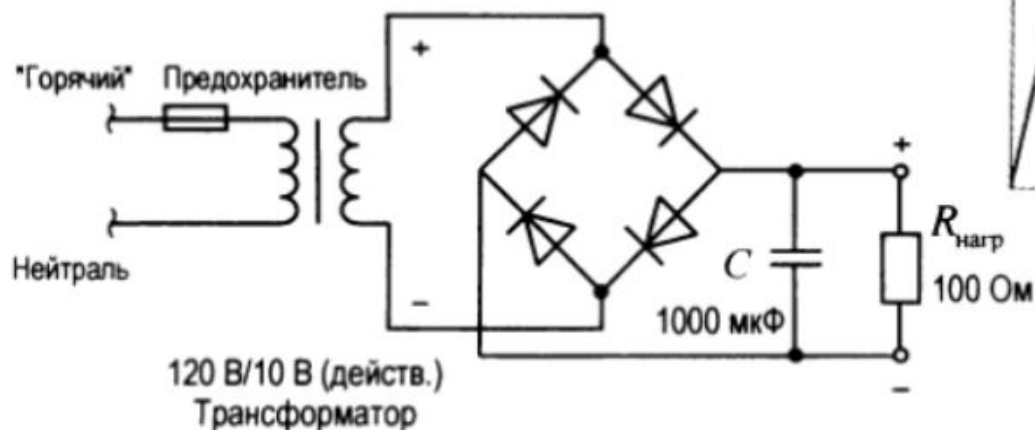
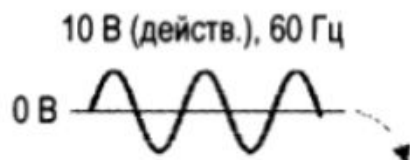
$$U_{\text{пост}} = 13,51 \text{ В}$$

$$U_{\text{пульс(пик-пик)}} = 1,17 \text{ В}$$

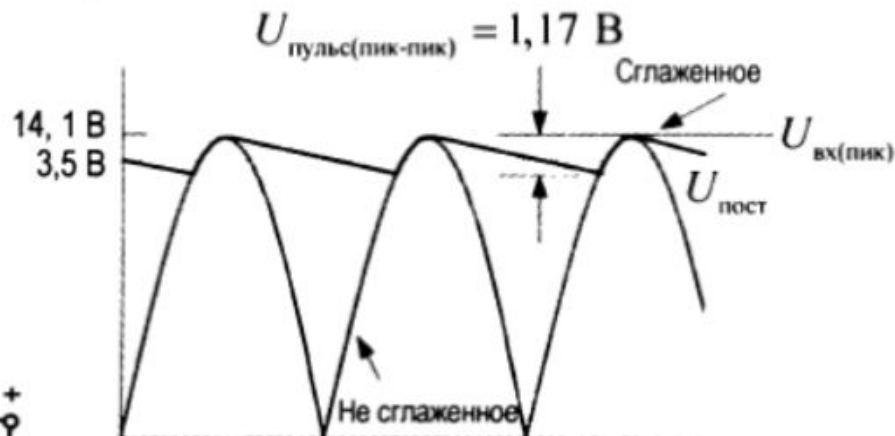
$$U_{\text{вх(действ)}} = 0,34 \text{ В}$$

Коэффициент  
пульсации = 0,0251  
или 2,51%

Подробности см. в главе  
о выпрямителях...



$f = 120 \text{ Гц}$



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

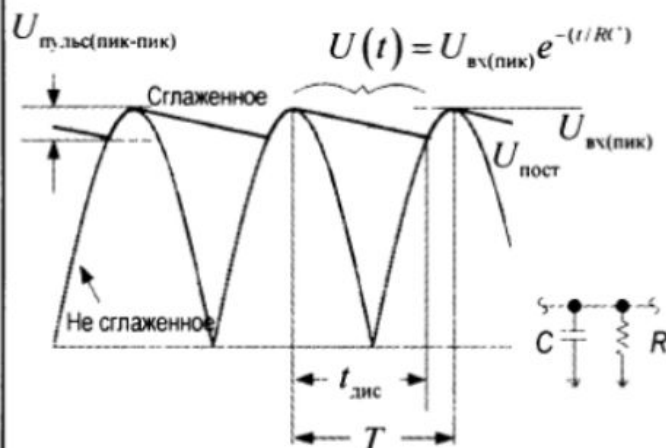
$$U_{\text{пульс(пик-пик)}} = \frac{U_{\text{вх(пик)}} T}{RC} = \frac{U_{\text{вх(пик)}}}{f \cdot RC}$$

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

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

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

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



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

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

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.

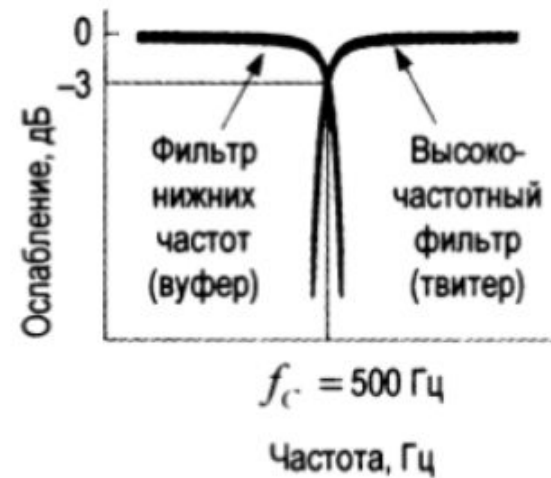
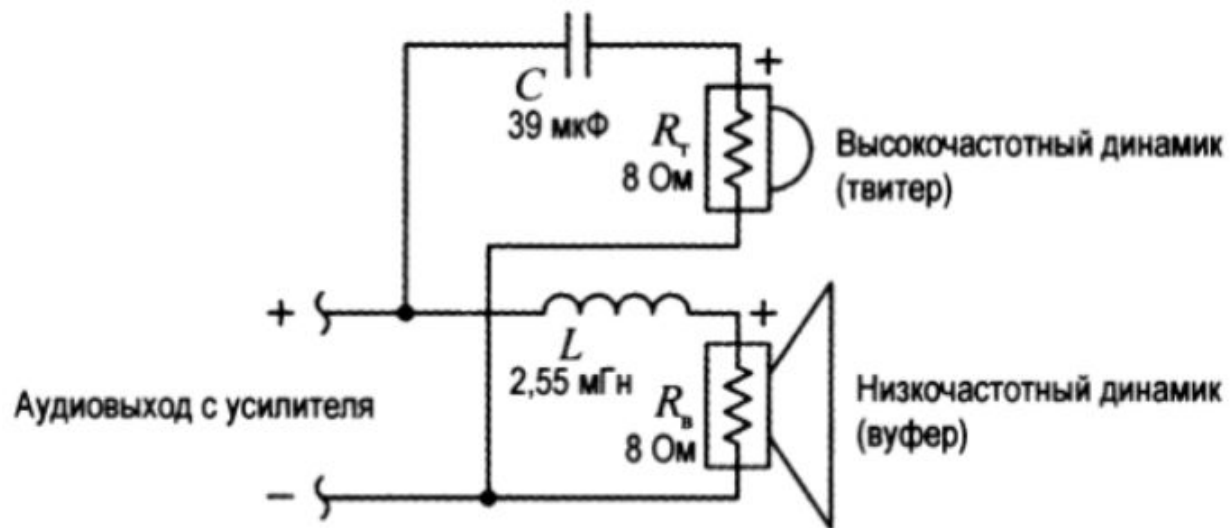
$$U_{\text{пост}} = U_{\text{вх(пик)}} - \frac{U_{\text{пульс(пик-пик)}} T}{2RC} = U_{\text{вх(пик)}} - \frac{U_{\text{пульс(пик-пик)}}}{2fRC}$$

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:

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

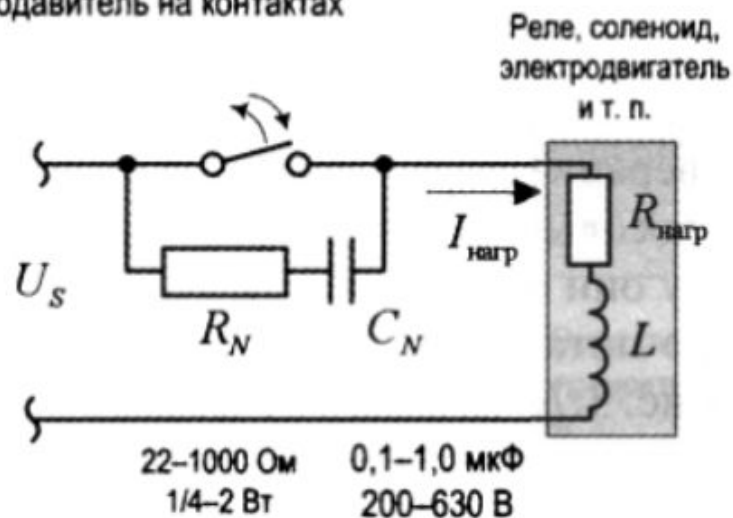
$$U_{\text{пост}} = U_{\text{вх(пик)}} \left[ 1 - \frac{1}{120RC} \right] \quad \text{Однополу- периодный выпрямитель (f = 60 Гц)}$$



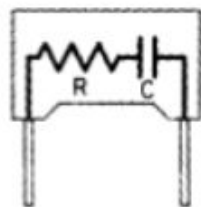


$$L = \frac{R_v}{2\pi f_c} \quad C = \frac{1}{2\pi R_t f_c}$$

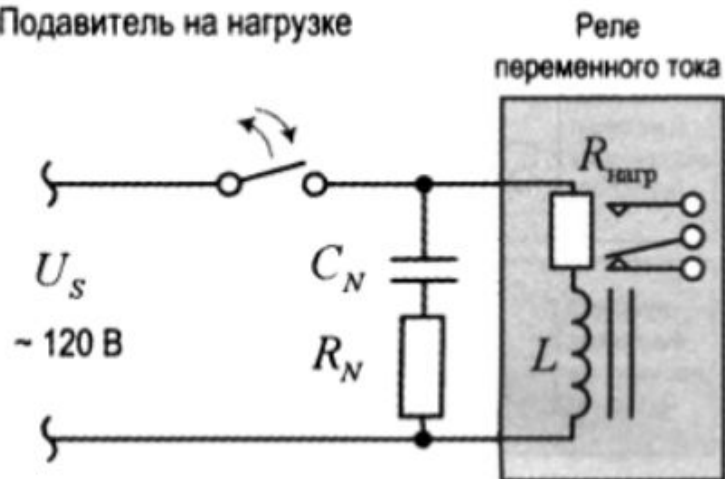
Подавитель на контактах



Устройство  
с RC-контуром



Подавитель на нагрузке



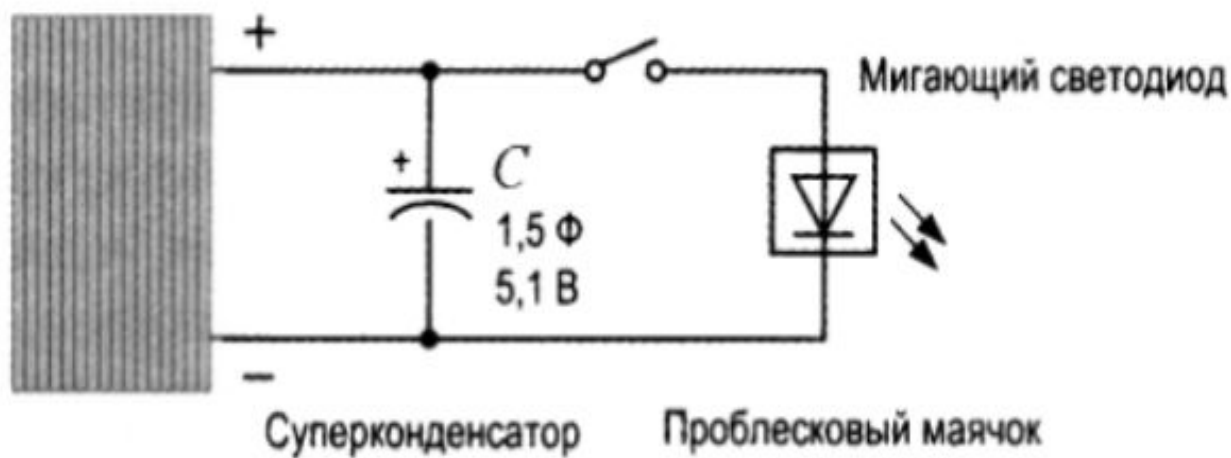
В функции RC-контра входит:

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 $U_n$ , В	Минимальный ток пробоя $I_n$ , 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.

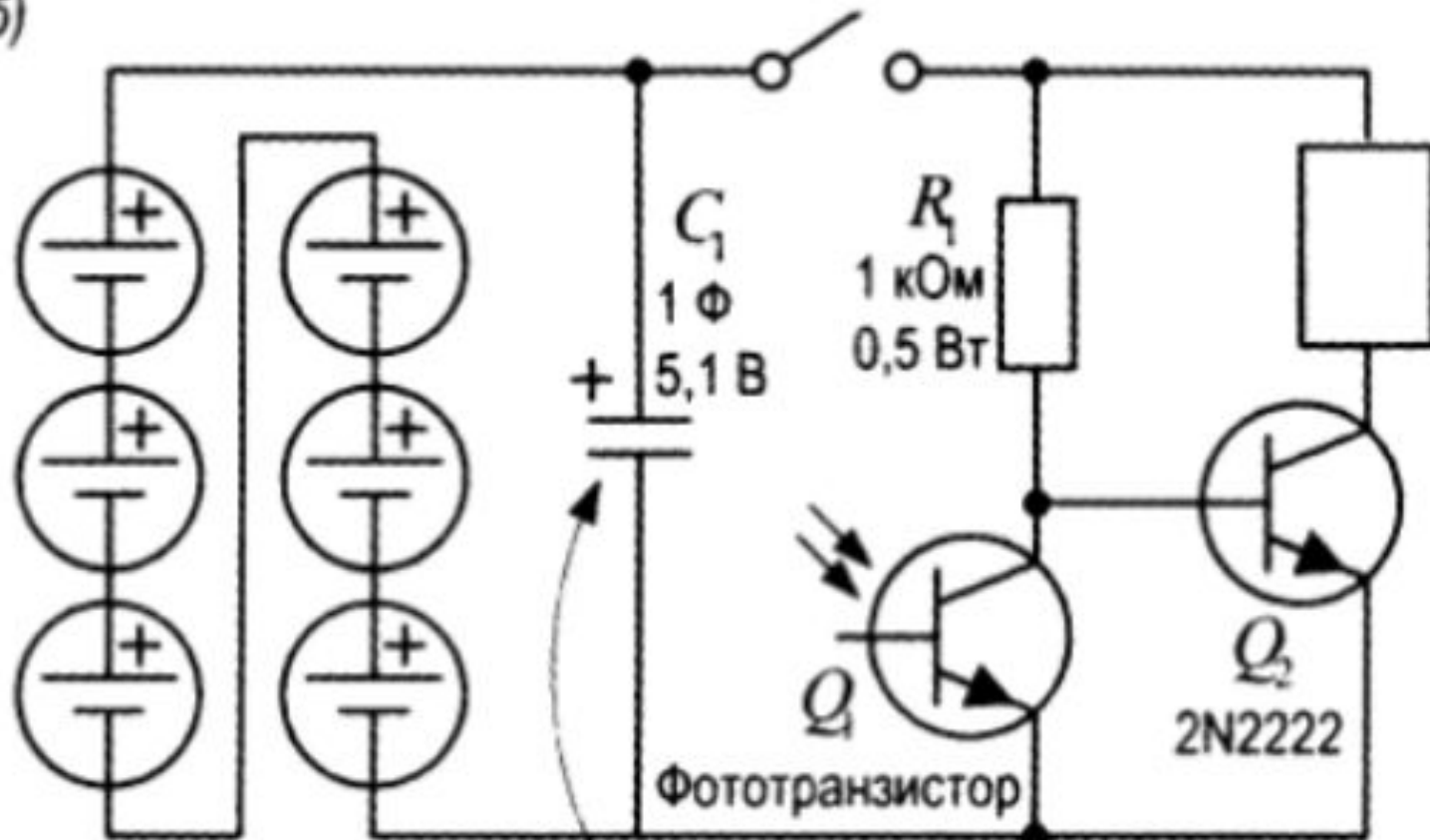
$U_s$  — напряжение источника



или



5)



Нагрузка:  
лампочка  
на 1,5 В, 40 мА;  
светодиод  
и т. п.

6 солнечных панелей  
на 0,5 В, 5 мА

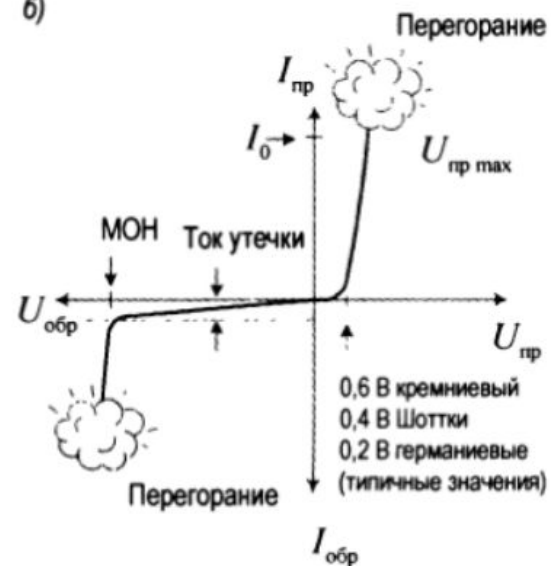
Суперконденсатор

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

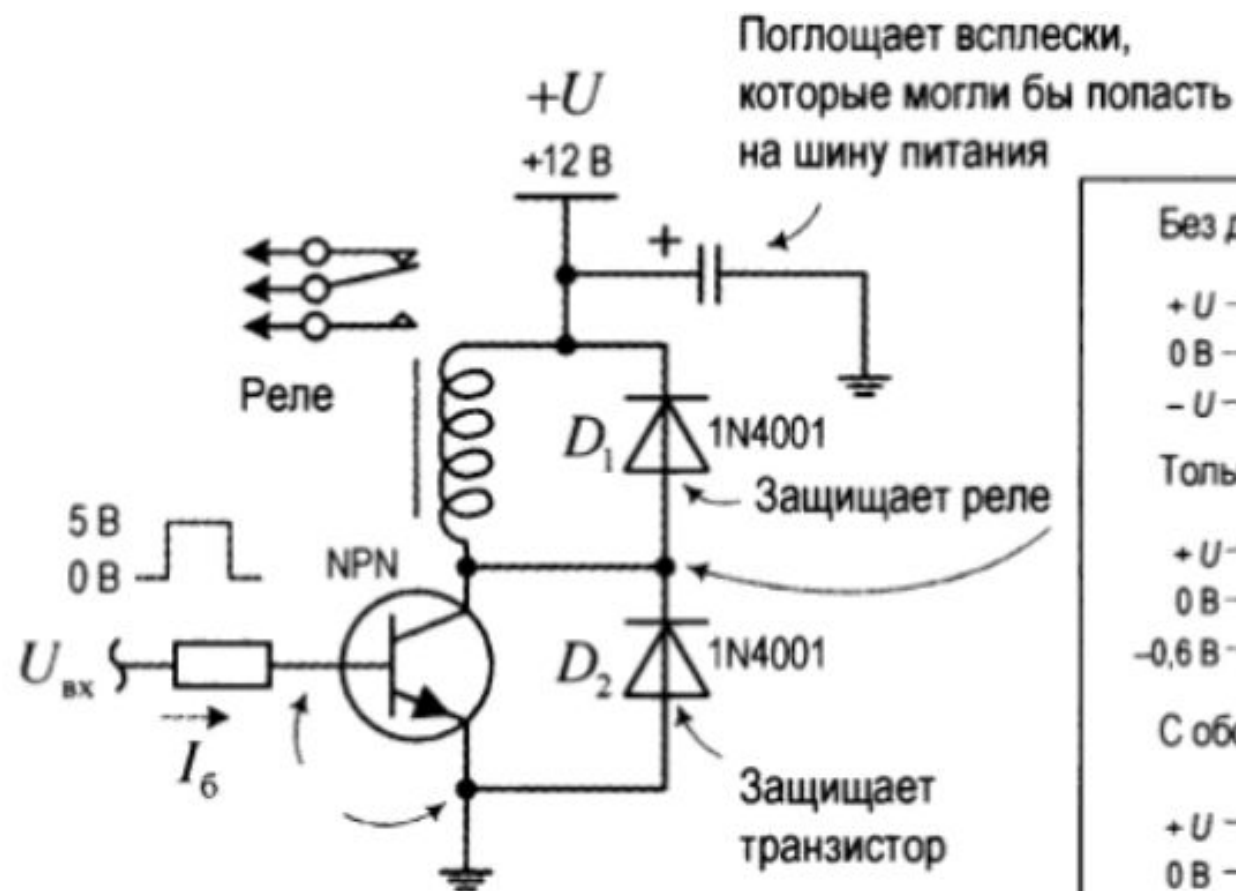
а)



б)

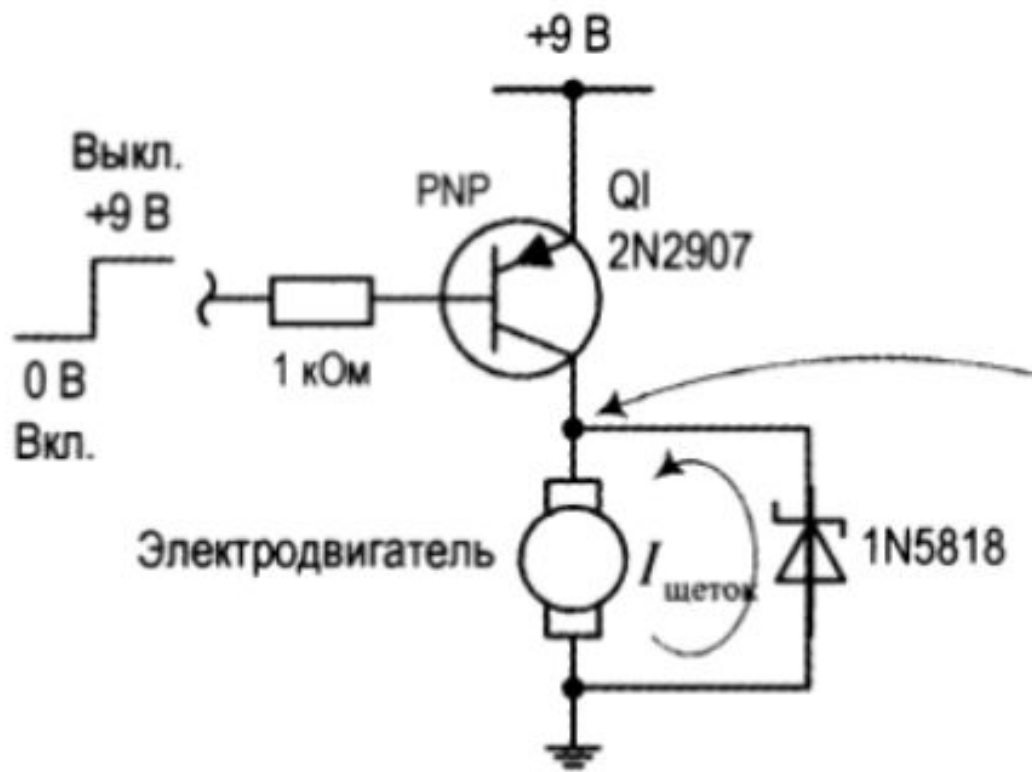


**РИС. 4.13.** Водяная аналогия диода (а) и кривая зависимости тока диода от напряжения (б). МОП — максимальное обратное напряжение;  $I_{пр}$ ,  $U_{пр}$  — ток и напряжение прямого смещения;  $I_{обр}$ ,  $U_{обр}$  — ток и напряжение обратного смещения

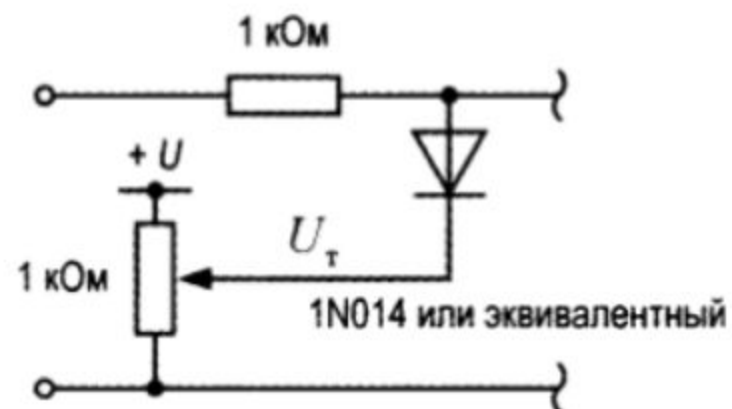
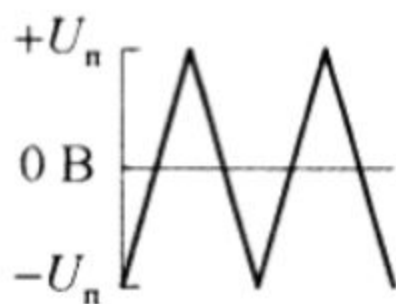


Реле вкл. при  $U_{\text{вх}} = +5\text{ В}$  и выкл.  $U_{\text{вх}} = 0\text{ В}$

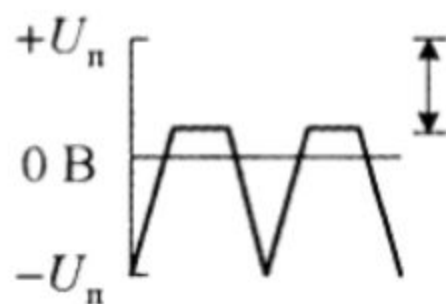
в)



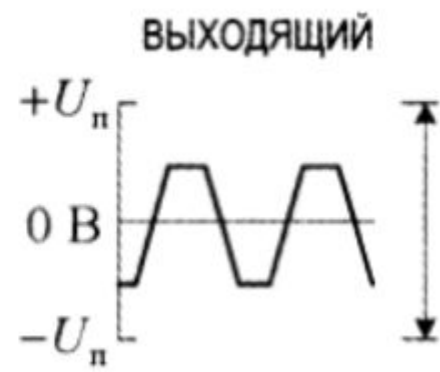
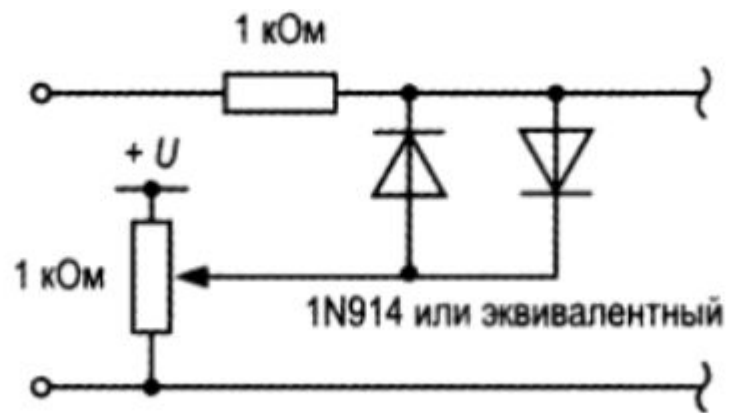
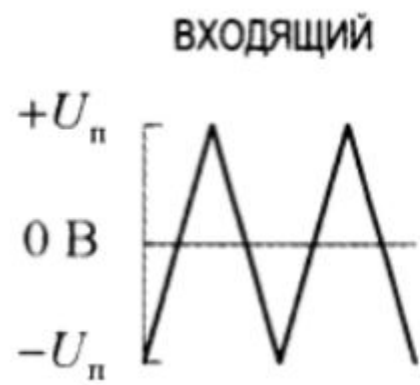
ВХОДЯЩИЙ

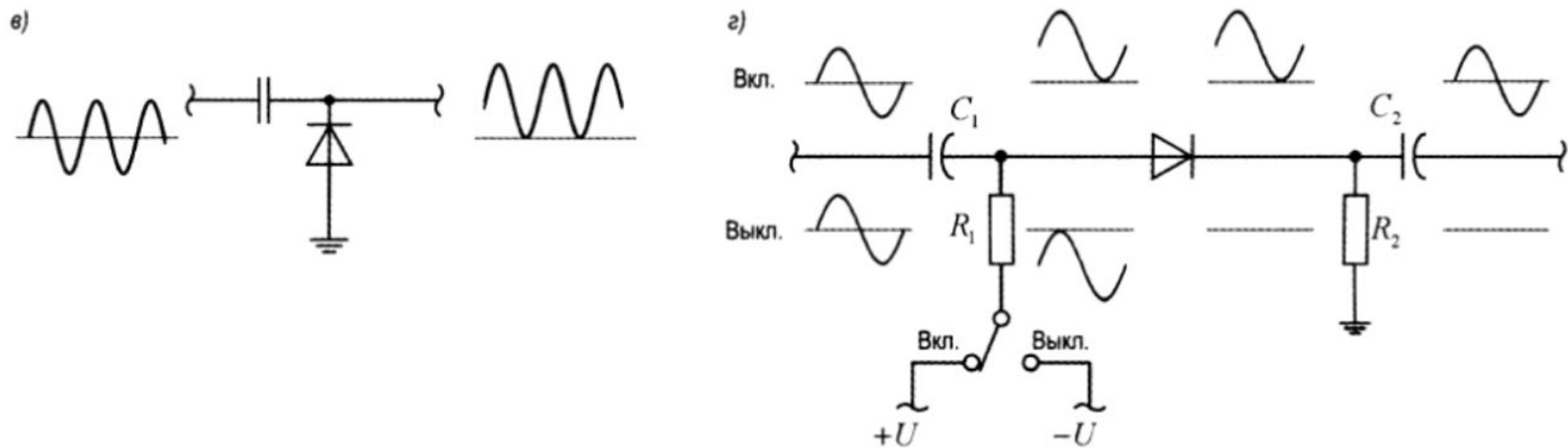


ВЫХОДЯЩИЙ









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