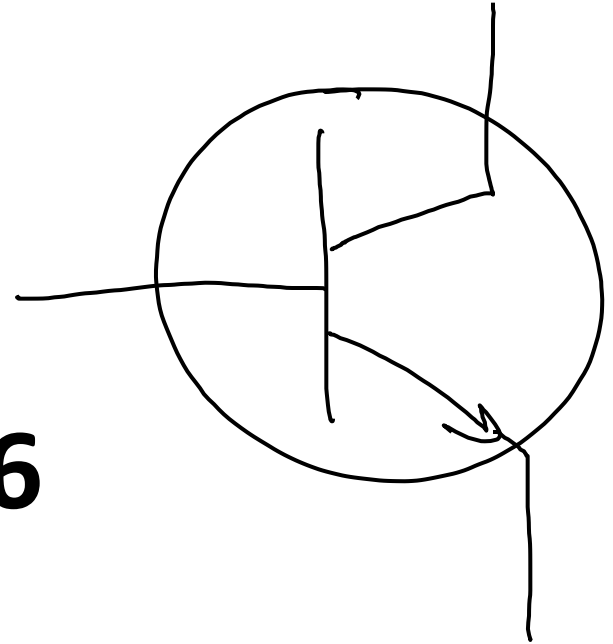
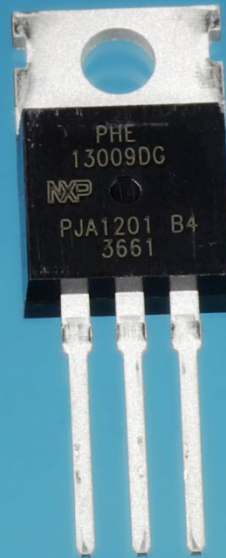
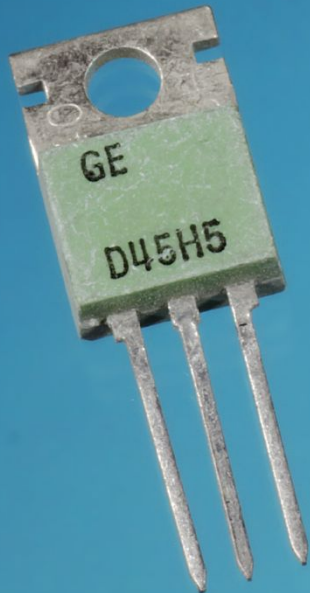


ЛЕКЦИЯ 6

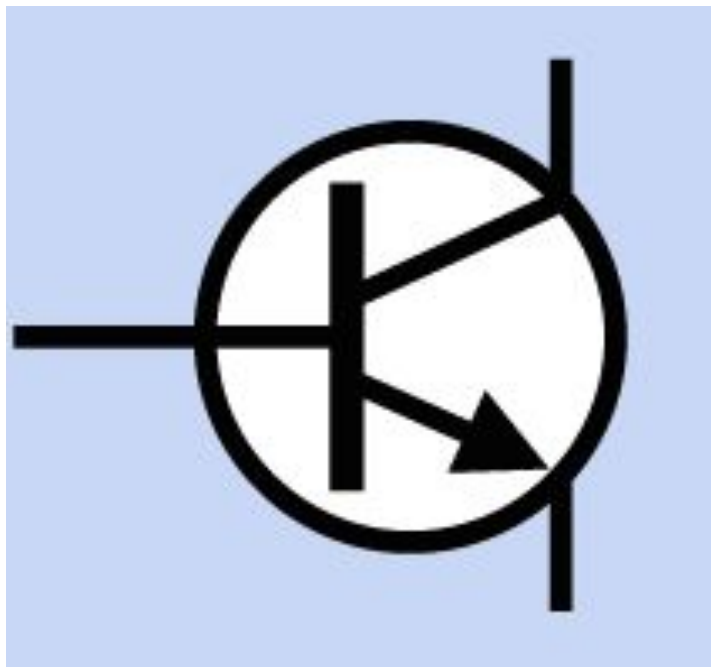


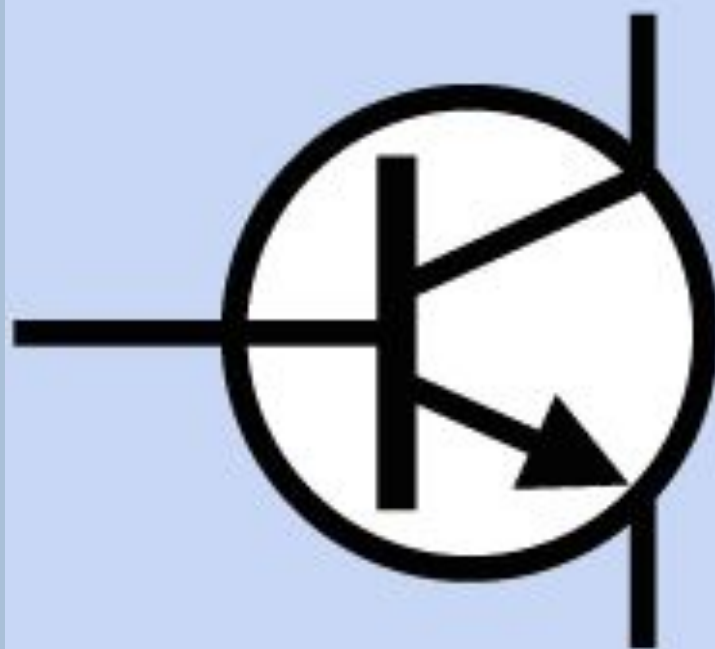
**ТРАНЗИСТОРЫ
ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ
ТРАНЗИСТОРОВ ДИОДИОВ И
КОНДЕНСАТОРОВ**



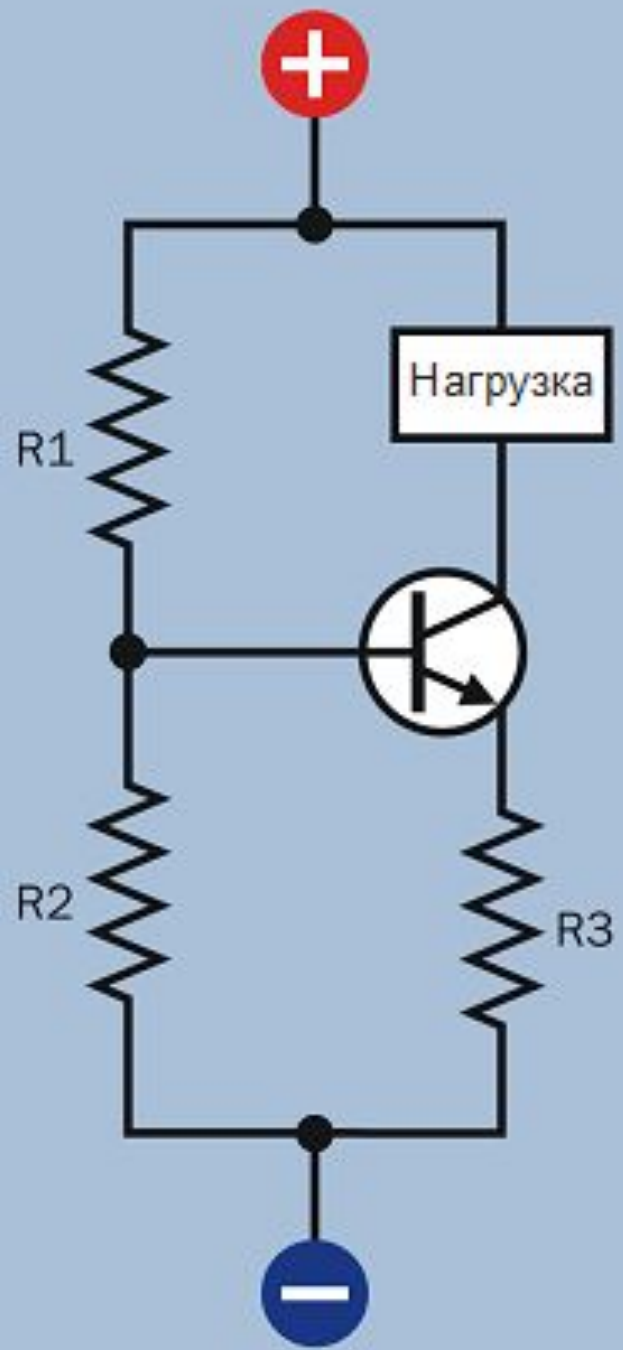
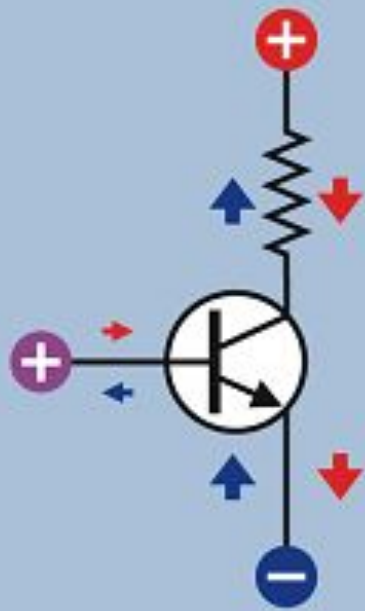
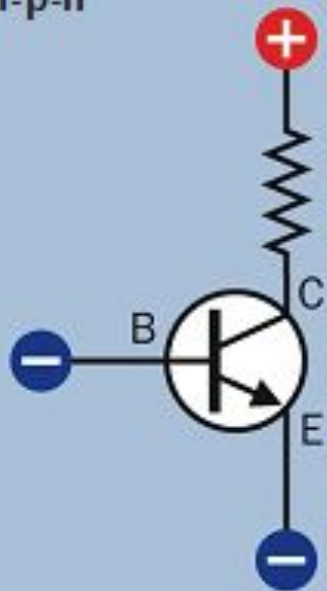
БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР ТИПА

n-p-n

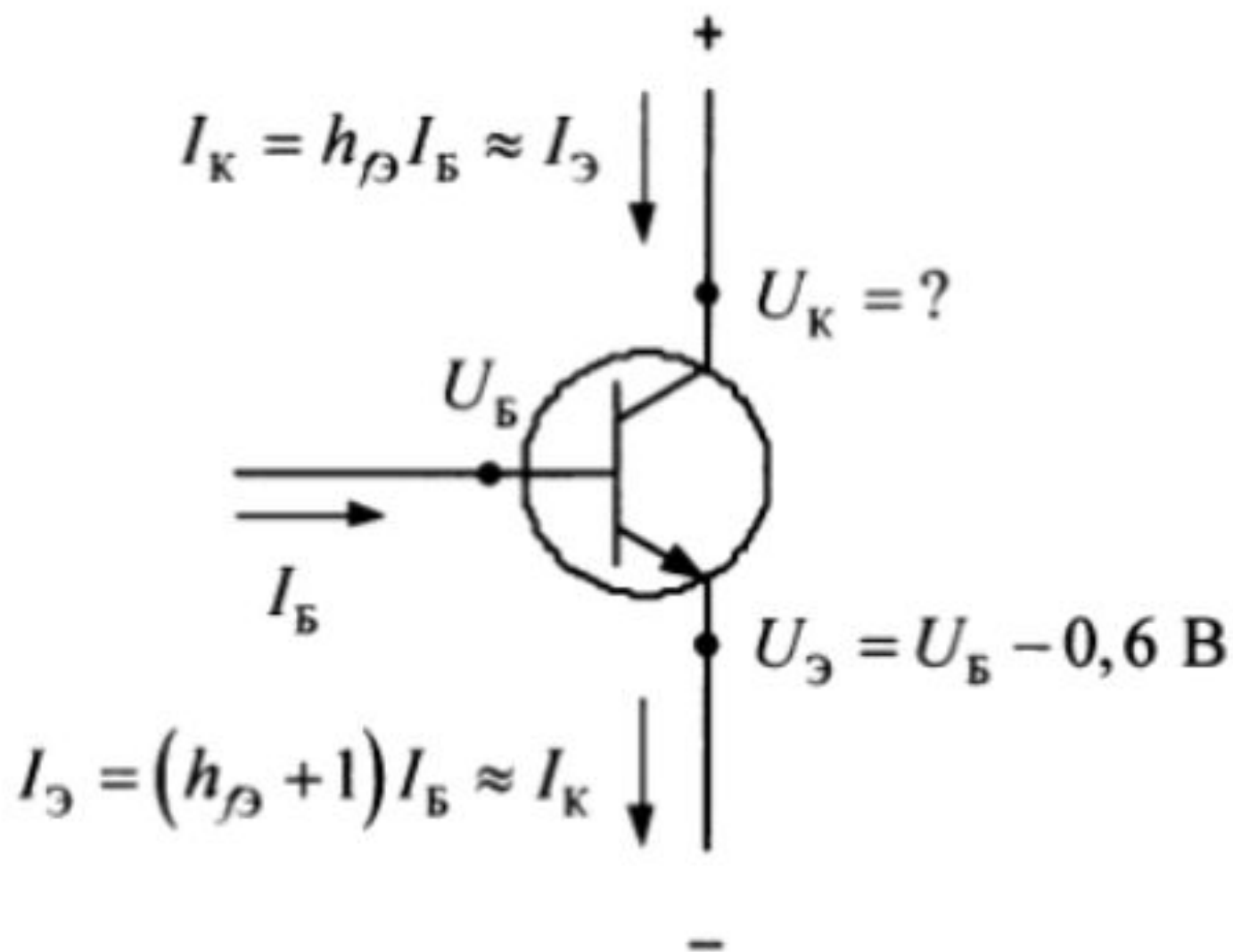




n-p-n

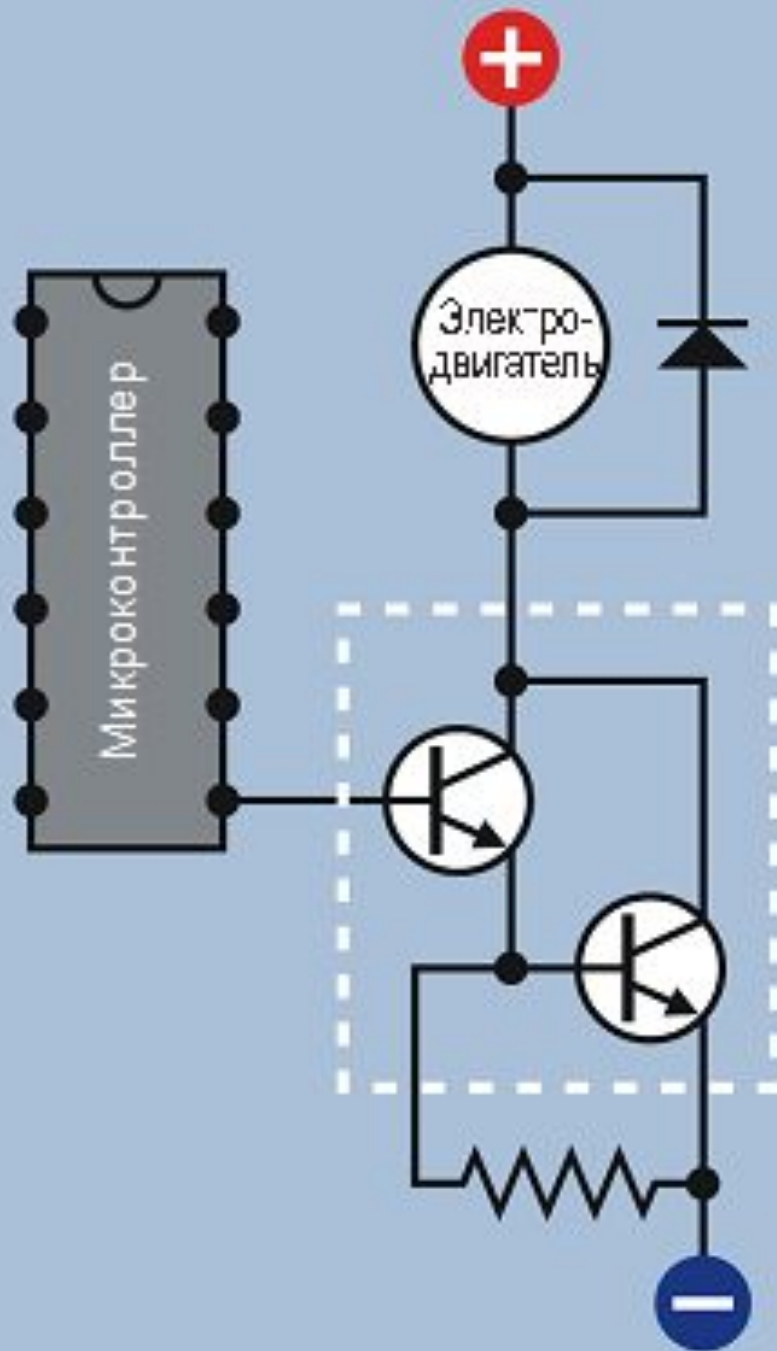


n-p-n

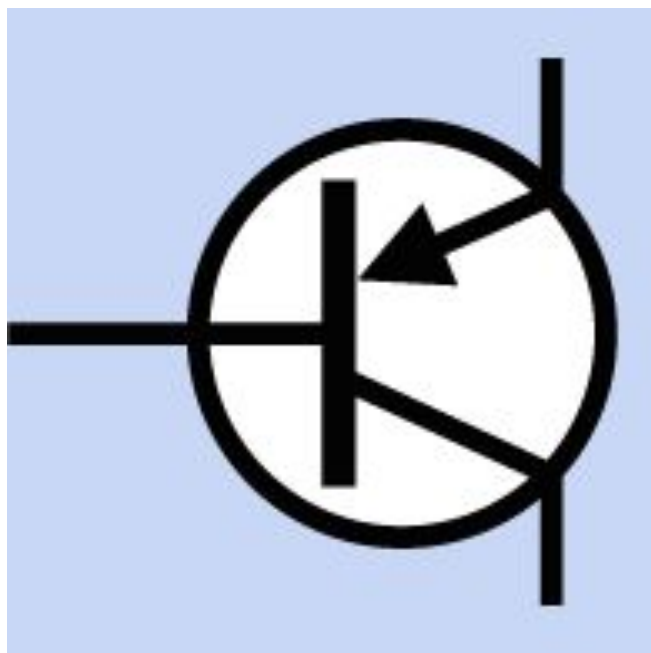


ПАРА
ДАРЛИНГТОНА
КОЭФФИЦИЕНТ
УСИЛЕНИЯ ДО
100 000

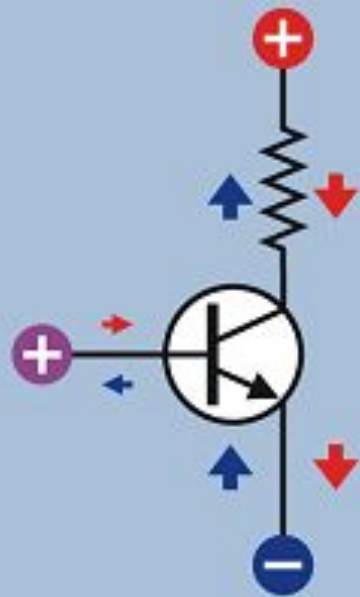
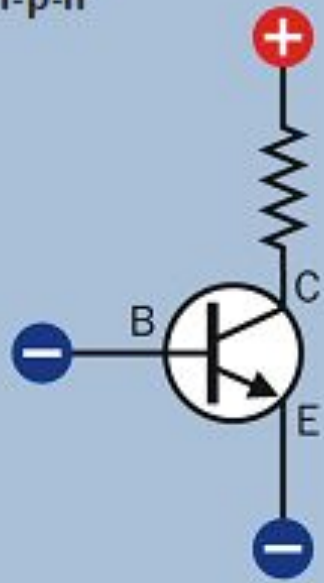
25мА
МИКРОКОНТРОЛЛ
ЕРА
В ?



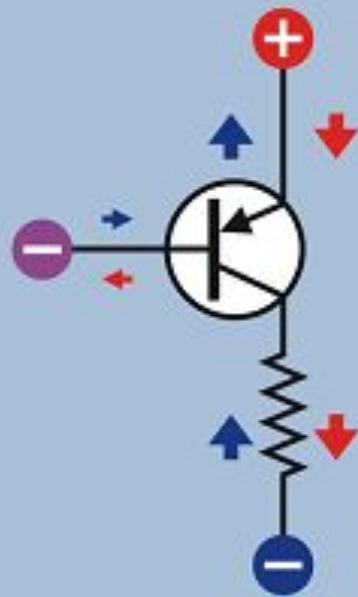
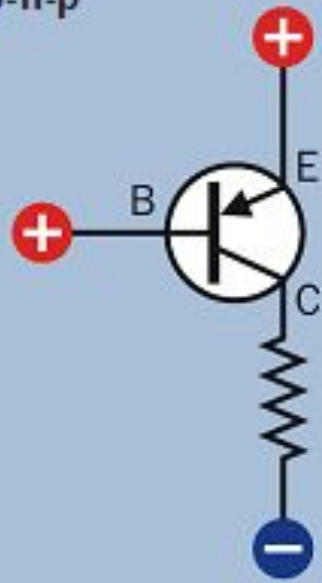
ЗАЧЕ
М
НУЖЕ
Н
ДИОД
?



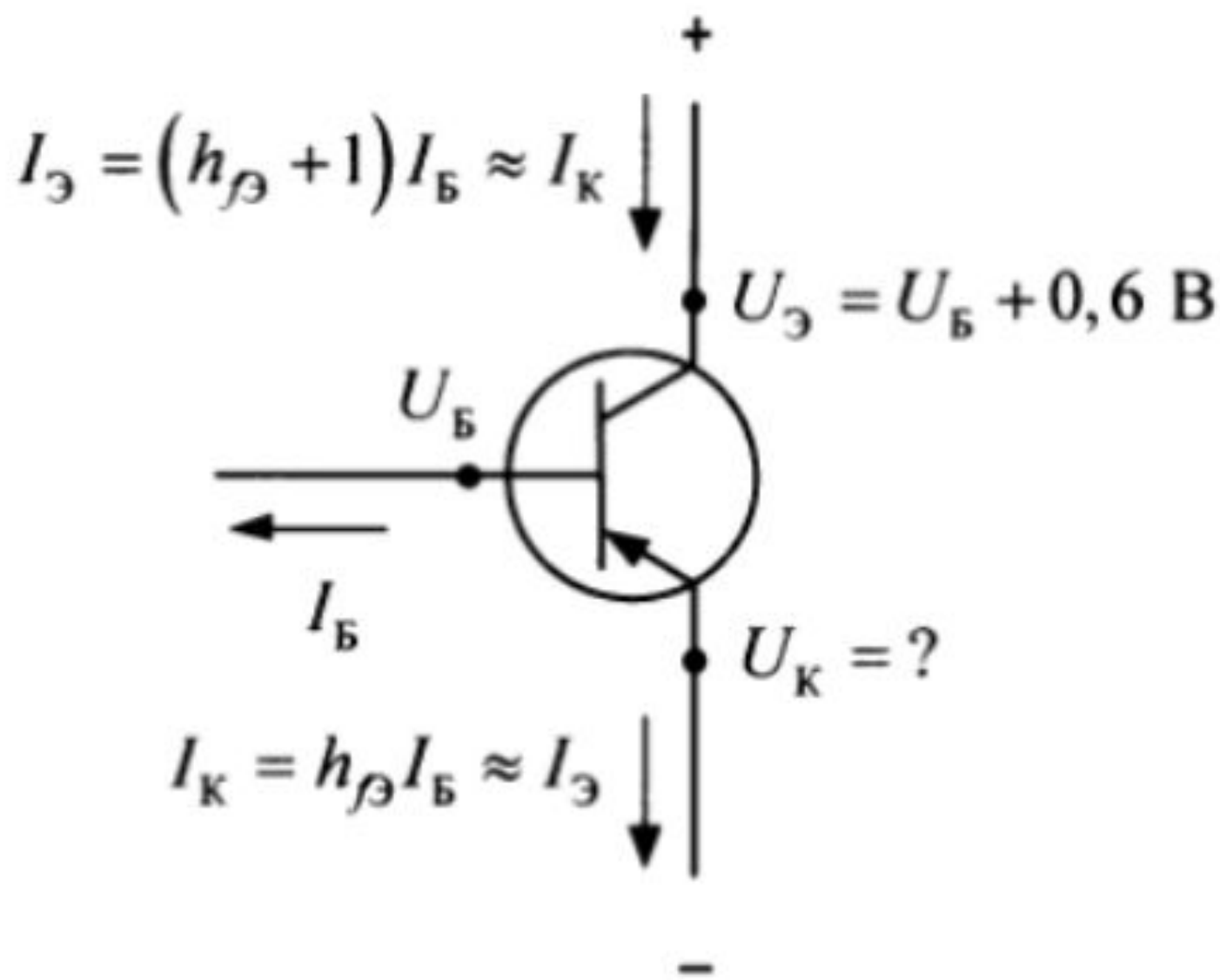
n-p-n

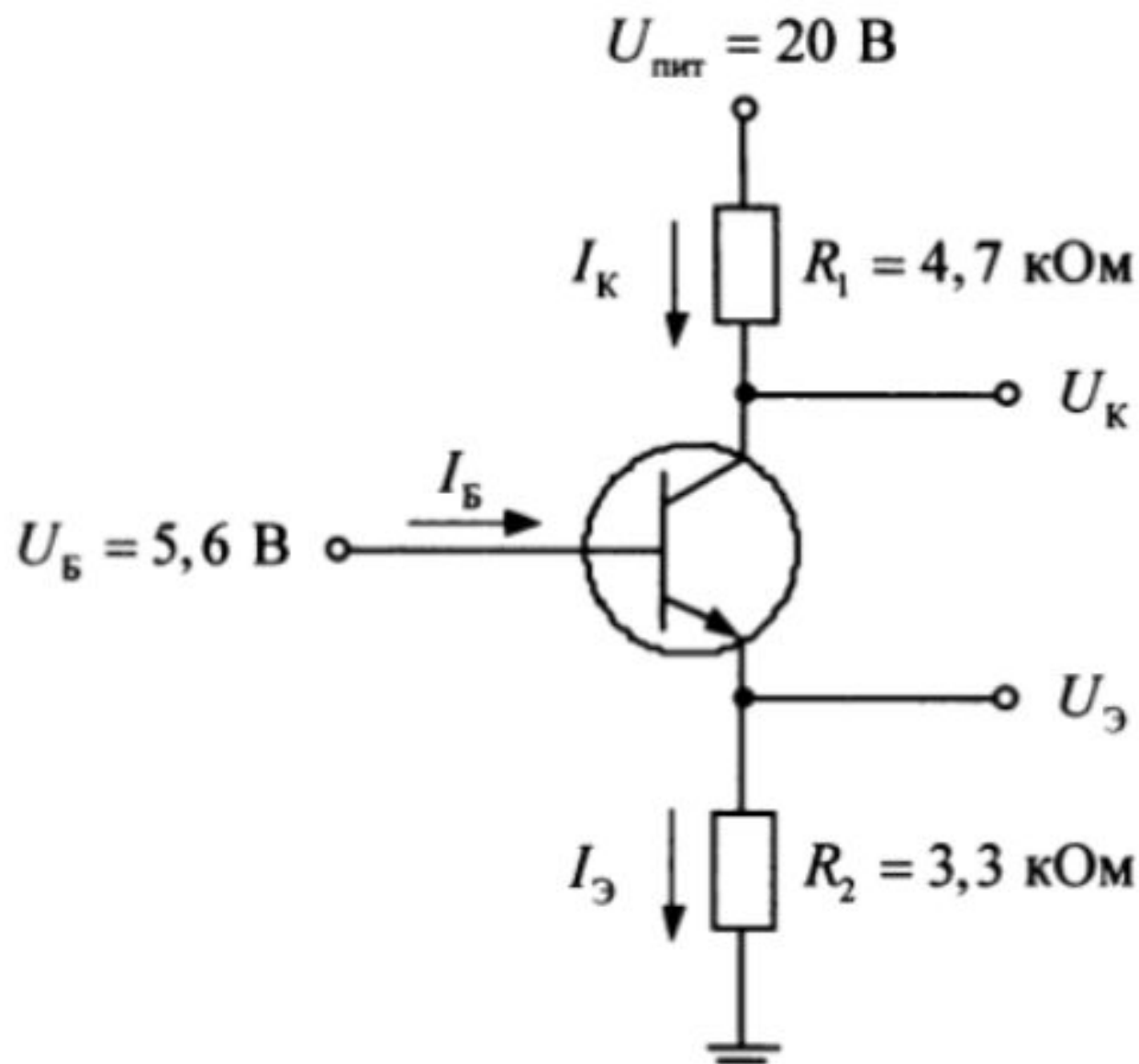


p-n-p



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 .

$$U_3 = U_B - 0,6 \text{ В};$$

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

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

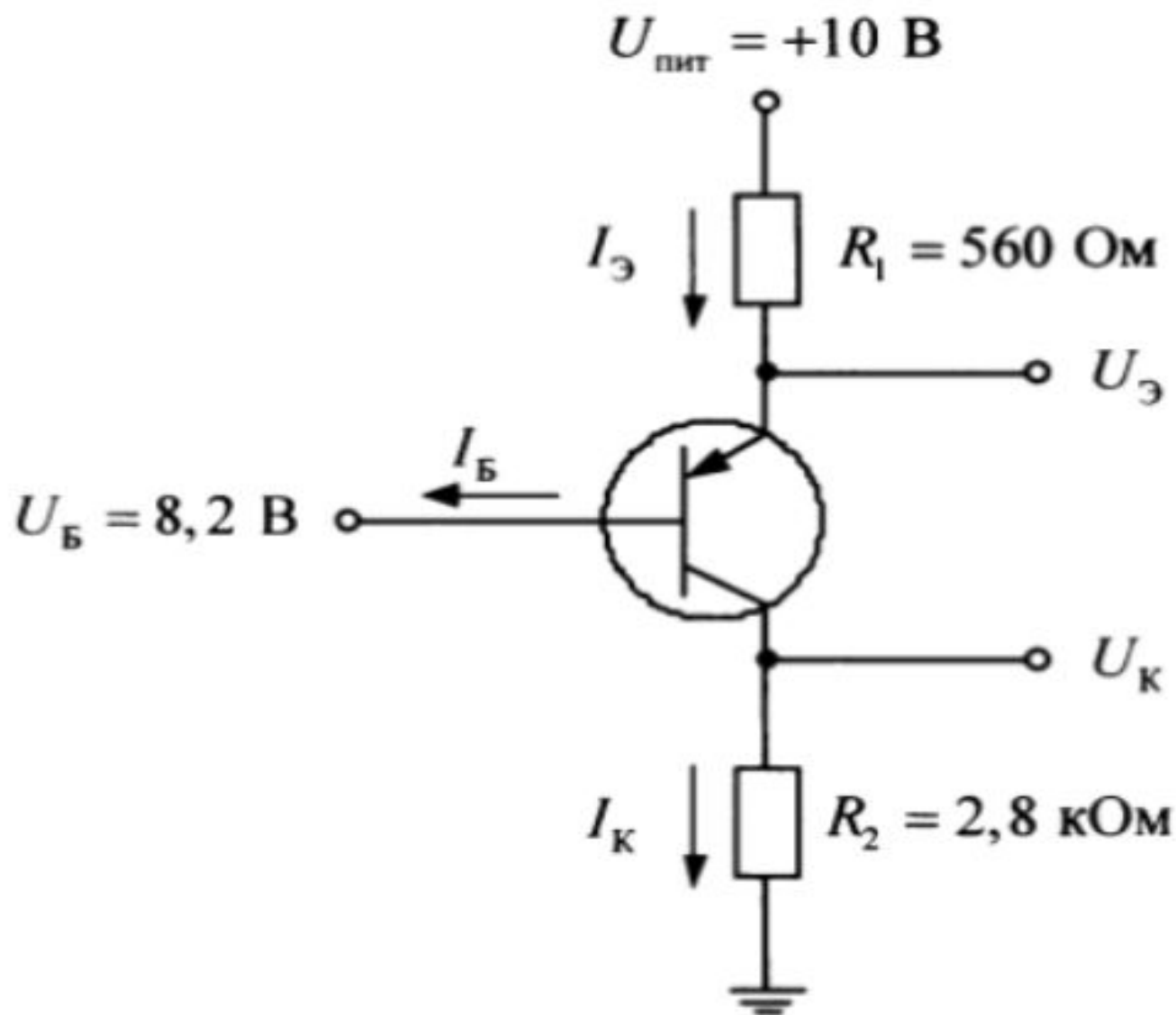
$$I_B = \frac{I_3}{1 + h_{\beta}} = \frac{1,5 \text{ мА}}{1 + 100} = 0,015 \text{ мА};$$

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

$$U_K = U_{\text{пит}} - I_K R_1;$$

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

$$U_K = 13 \text{ В}.$$



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 .

$$U_3 = U_B + 0,6 \text{ В};$$

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

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

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

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

$$U_K = 0 \text{ В} - I_K R_2;$$

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

$$U_K = 5,9 \text{ В}.$$

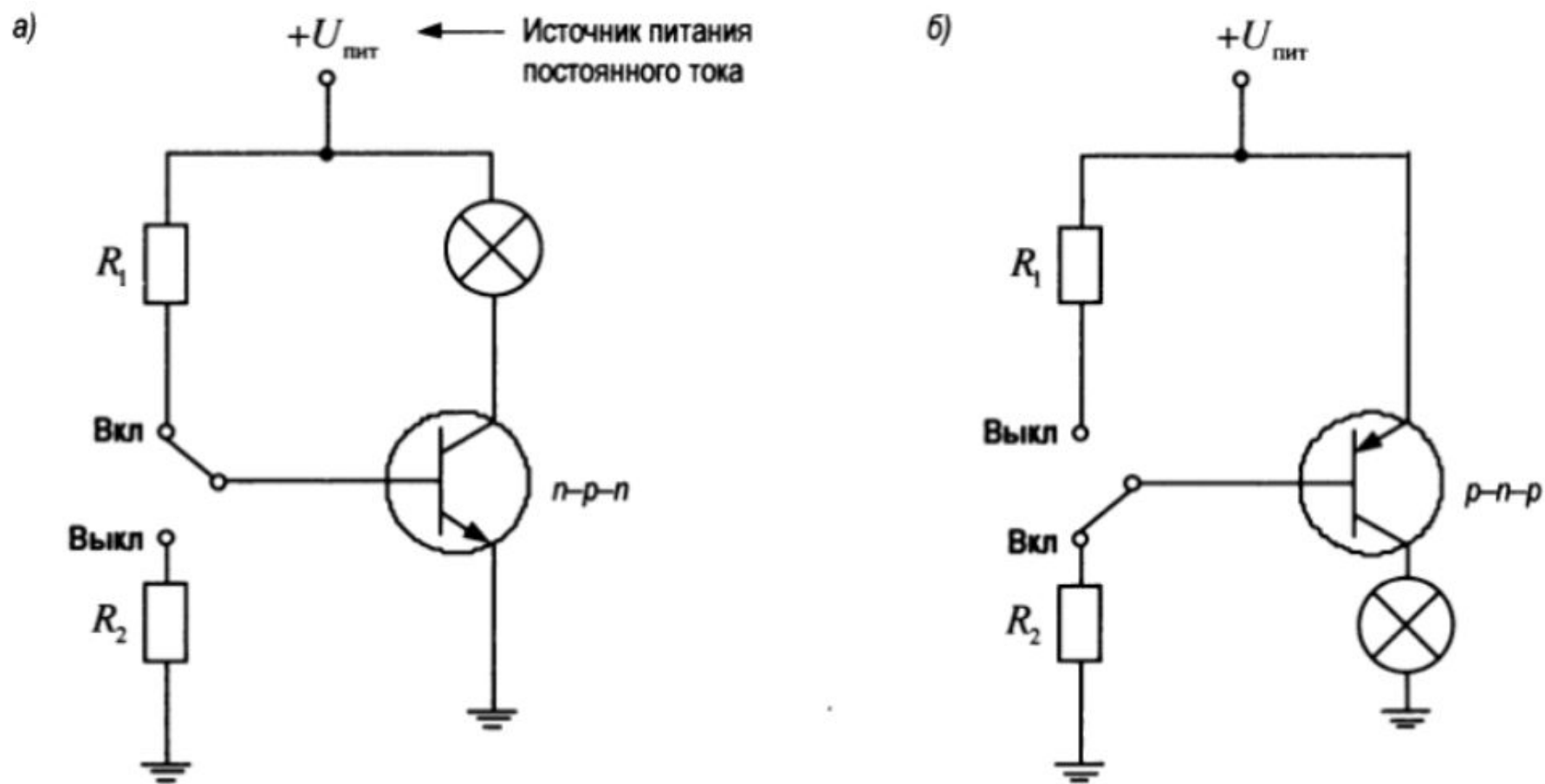
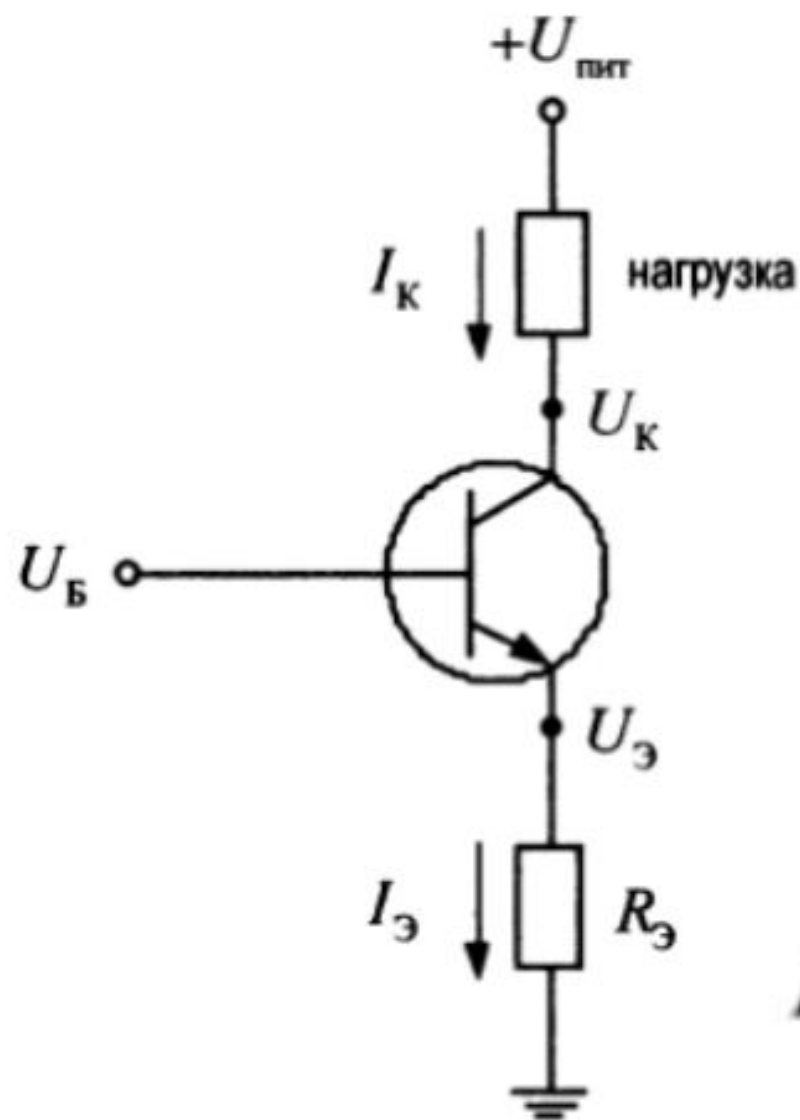


РИС. 4.52. Транзисторный переключатель: а — на транзисторе $n-p-n$ -типа; б — на транзисторе $p-n-p$ -типа

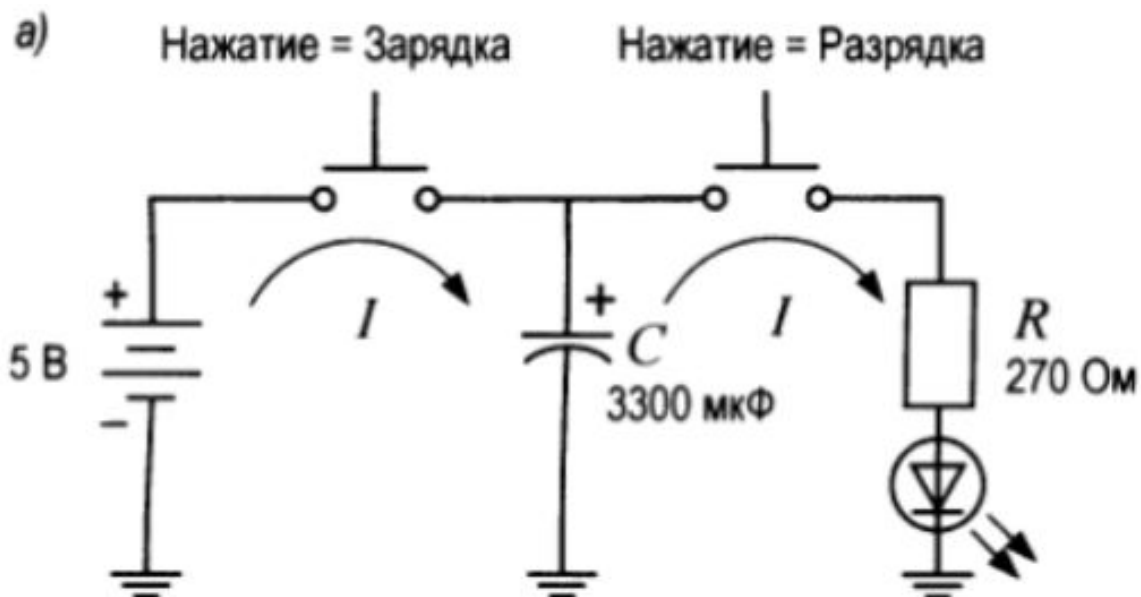


$$U_Э = U_B - 0,6 \text{ В}$$

$$I_Э = \frac{U_Э}{R_3}$$

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

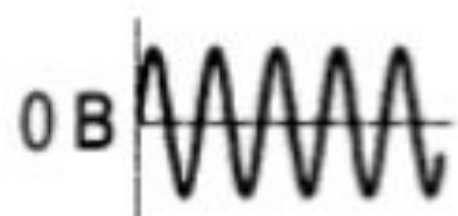
$$I_K = I_{\text{нагр}} \frac{U_B - 0,6 \text{ В}}{R_3}$$



Ток → Заряд → Ток

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

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



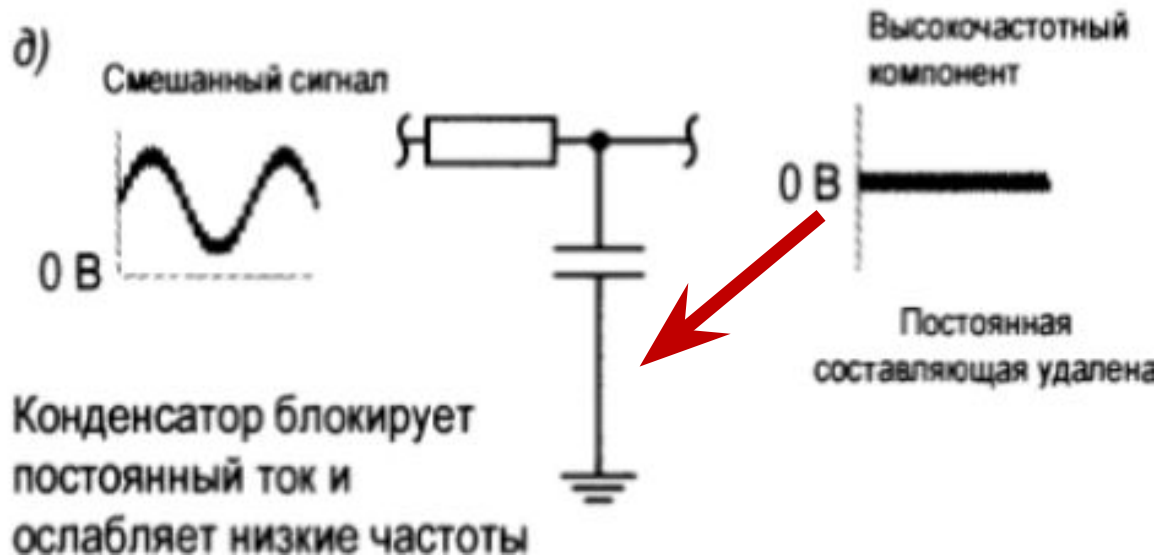
Переменный ток



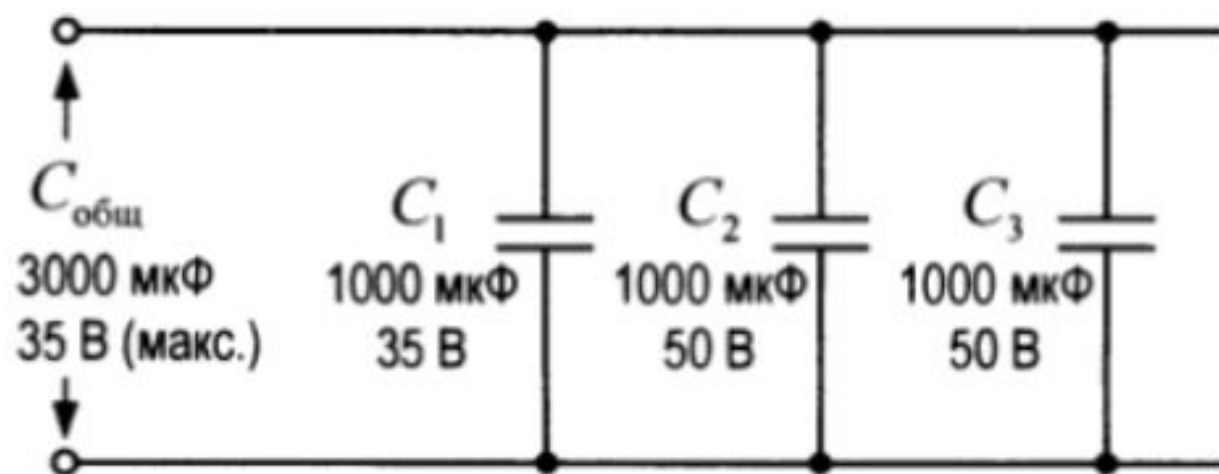
Постоянный ток



Конденсатор сохраняет положительное пиковое напряжение

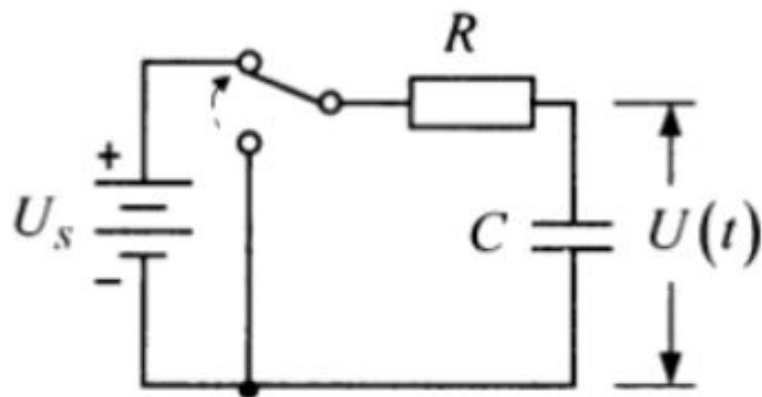


- a) Повышает общую емкость, но ограничивает максимальное номинальное напряжение наименьшим номинальным напряжением среди всех конденсаторов



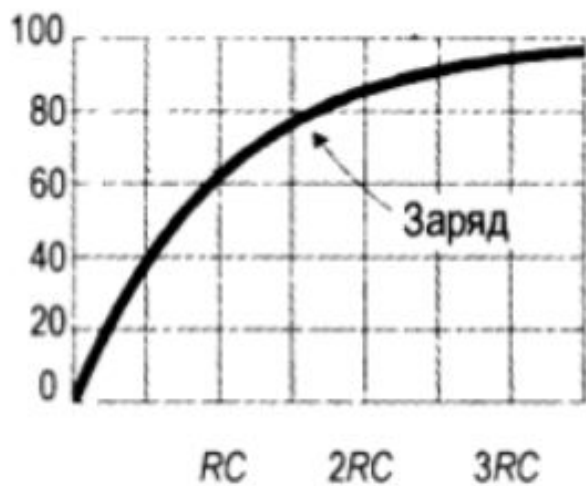
$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Зарядка конденсатора



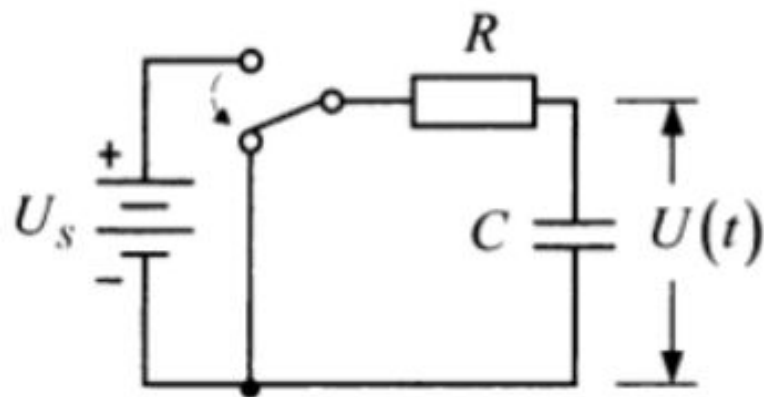
$$U(t) = U_s (1 - e^{-t/RC})$$

Напряжение на конденсаторе, %



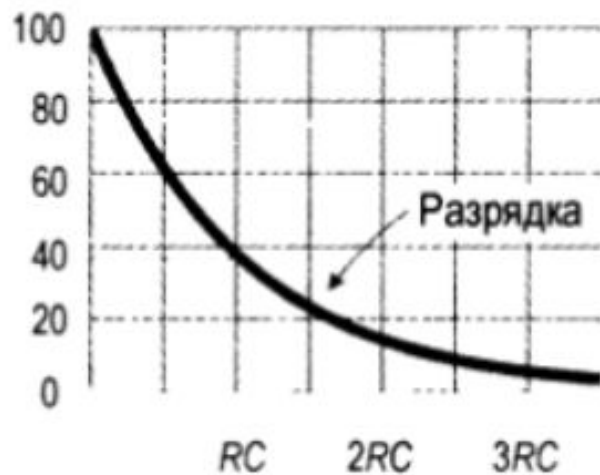
Время, с

Разрядка конденсатора



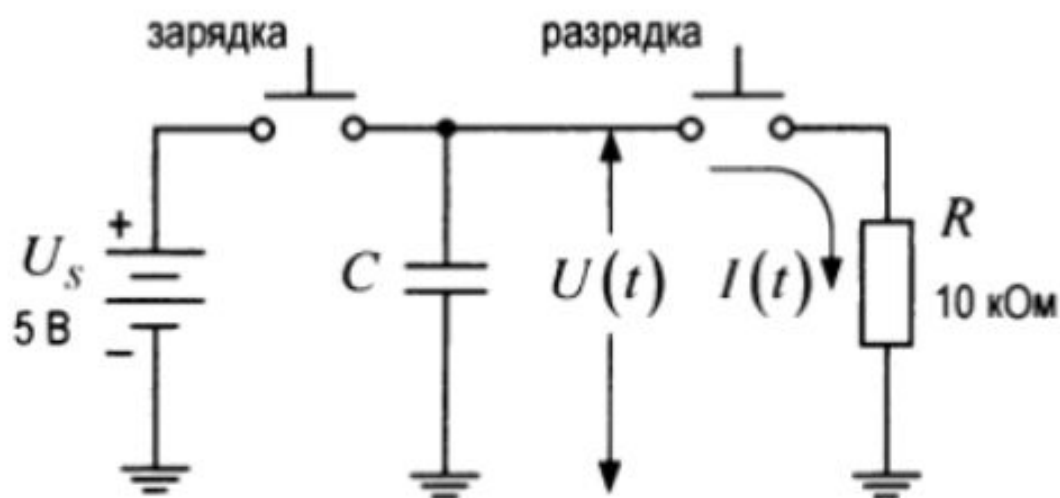
$$U(t) = U_s e^{-t/RC}$$

Напряжение на конденсаторе, %



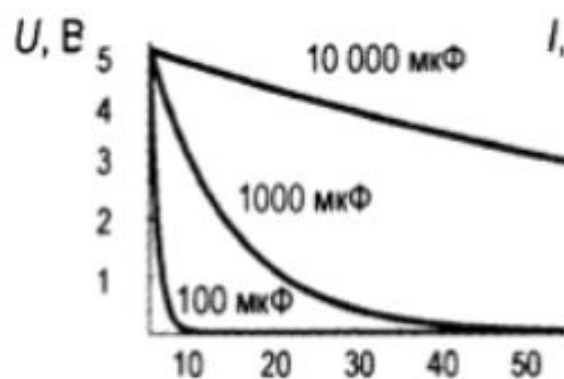
Время, с

100 мкФ, 1000 мкФ, 10 000 мкФ разрядка

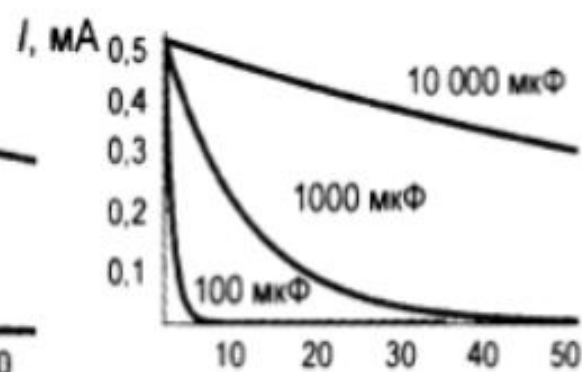


$$U(t) = U_s e^{-(t/RC)}$$

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



Время, с



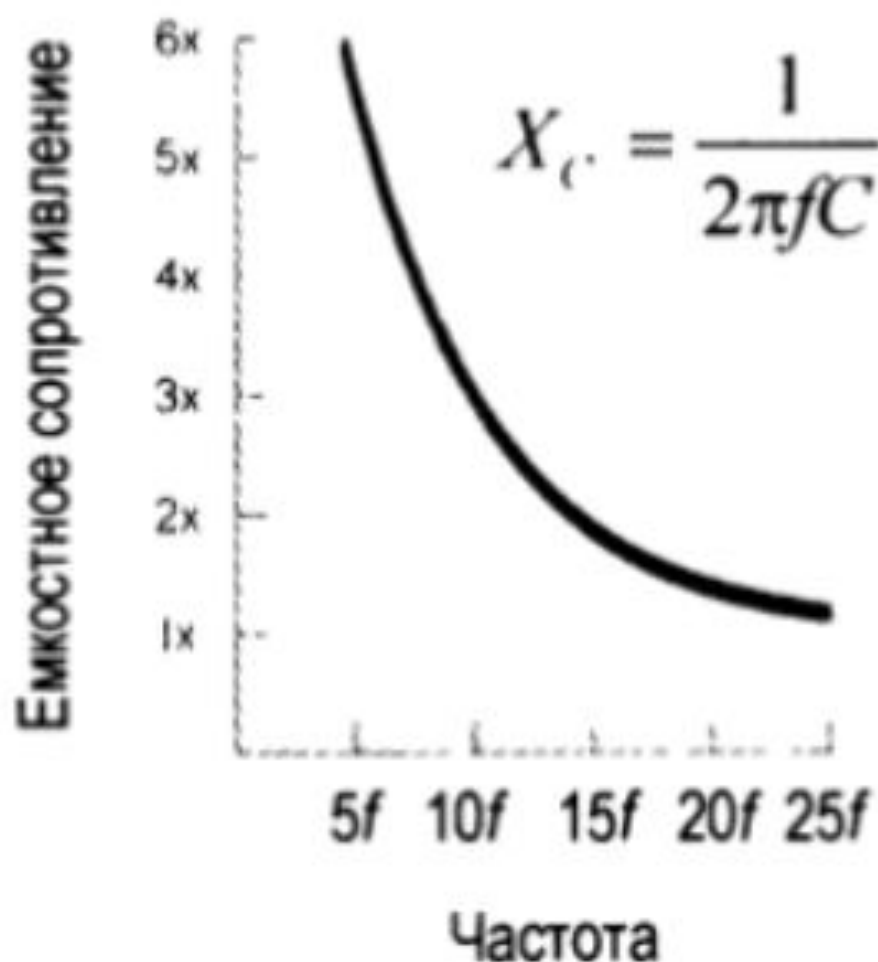
Время, с

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 — ω .

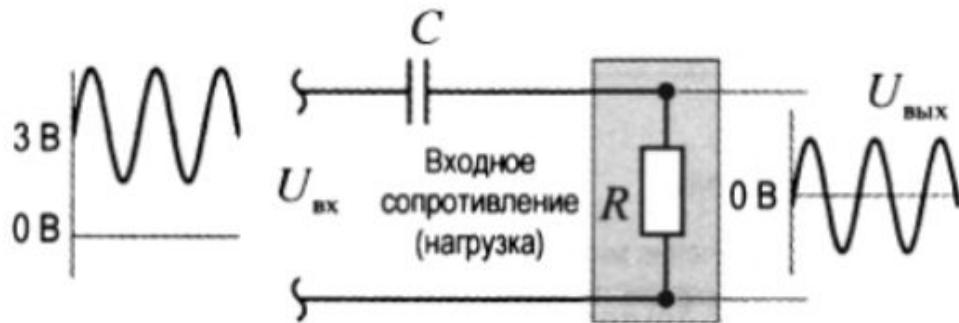


Идеальное отношение реактивного сопротивления к частоте для постоянного конденсатора

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

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

Иллюстрация блокировки сигнала постоянного тока



Зависимость ослабления сигнала от частоты

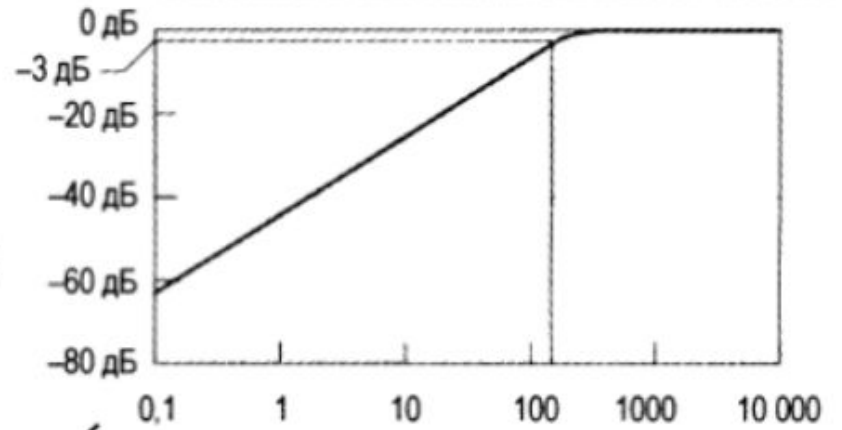
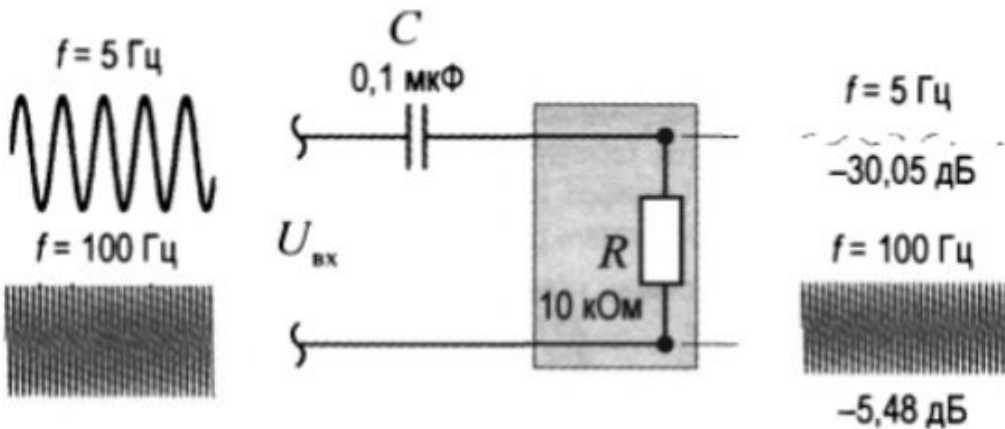


Иллюстрация связи по переменному току (высокочастотный фильтр)



Частота, Гц
 $f_{-3 \text{ дБ}} = 159 \text{ Гц}$

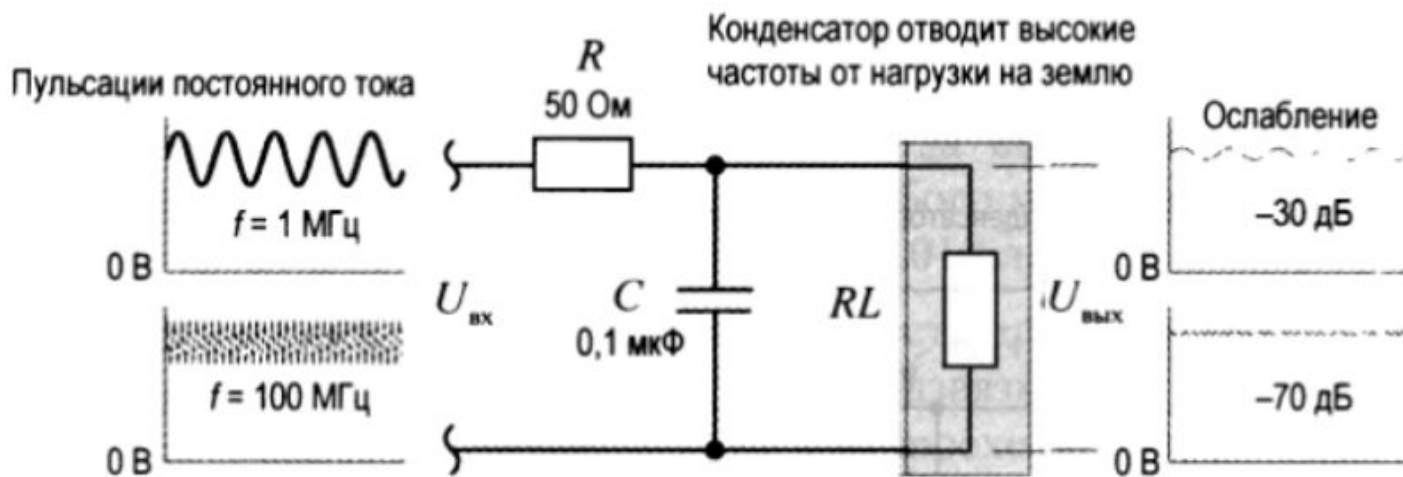
Частота среза (частота -3 дБ)

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

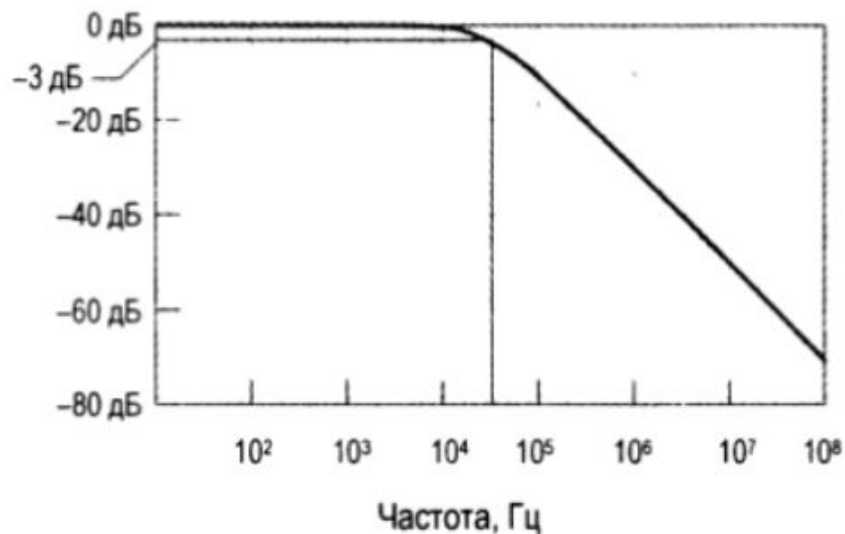
Ослабление

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

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



Зависимость ослабления сигнала от частоты



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

Частота среза (частота -3 дБ)

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

Ослабление

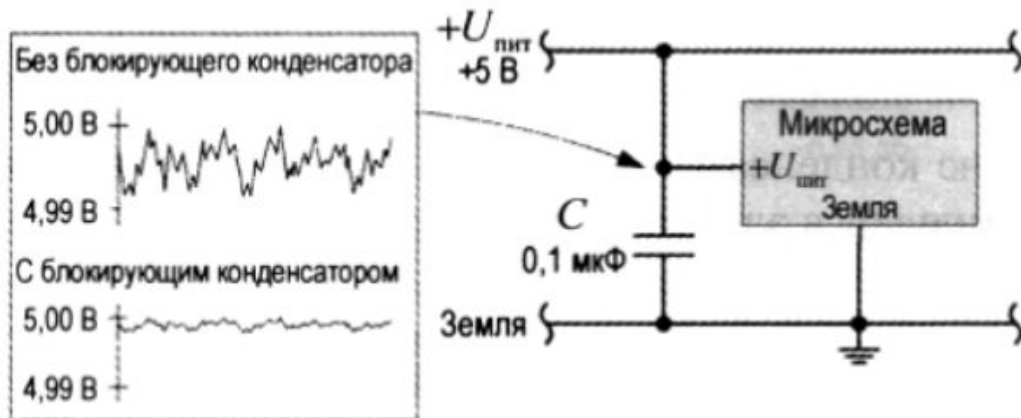
$$A = \left| \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}}$$

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

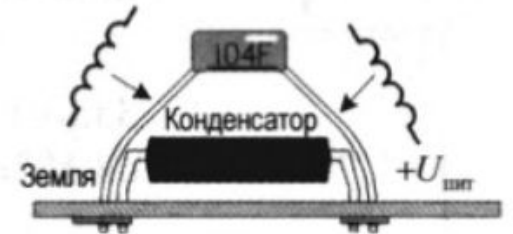
Сдвиг по фазе

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

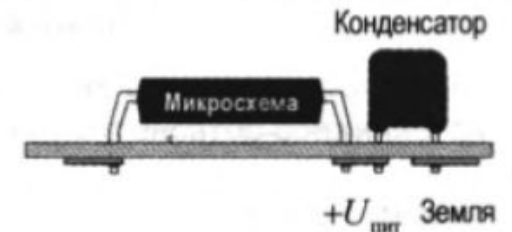
Отвод нежелательных колебаний источника питания на землю



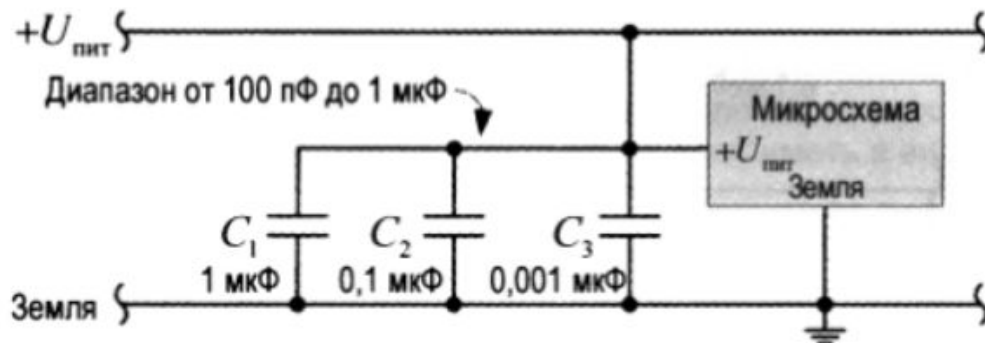
Высокая индуктивность выводов (плохо)



Лучше, чтобы выводы были короткими

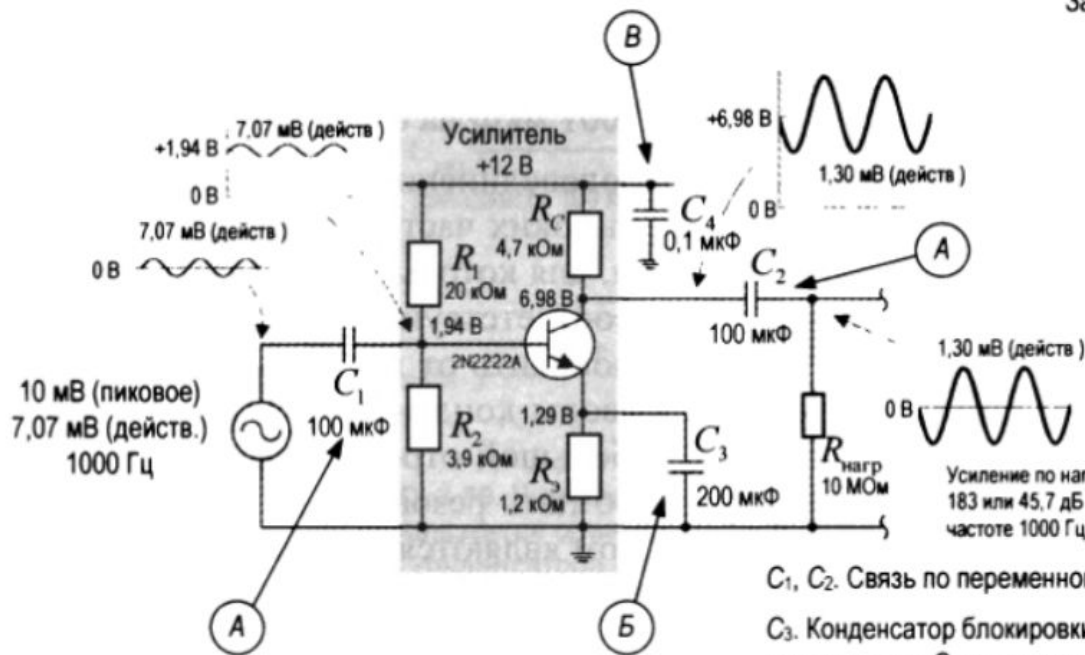


Несколько блокирующих конденсаторов для составных колебаний источника питания

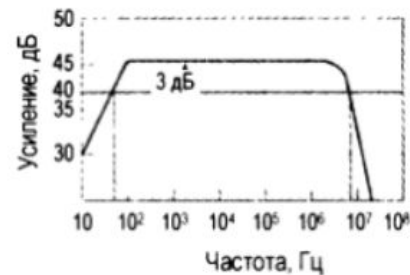


В этом плане идеальны конденсаторы для поверхностного монтажа





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.

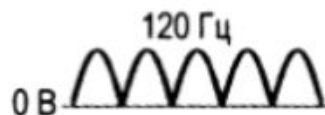
C_3 . Конденсатор блокировки переменного тока. На частотах, при которых импеданс X_C конденсатора C_3 меньше, чем сопротивление эмиттерного резистора R_3 , конденсатор C_3 пропускает сигнал переменного тока через себя на землю и удаляет резистор R_3 из цепи. Это устраняет отрицательную обратную связь,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

C_4 . Конденсатор для развязки источника питания.

Без конденсатора фильтра

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

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



Подробности см. в главе
о выпрямителях...

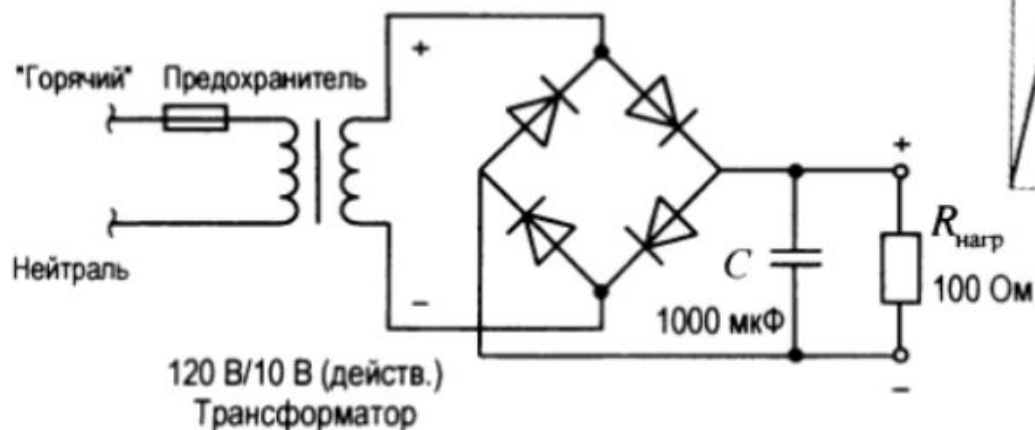
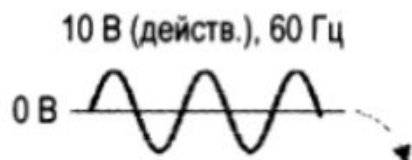
С конденсатором фильтра

$$U_{\text{пост}} = 13,51 \text{ В}$$

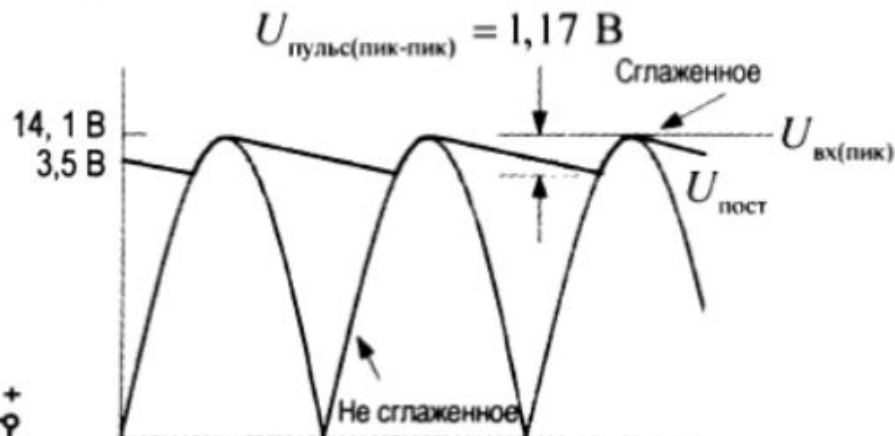
$$U_{\text{пульс(пик-пик)}} = 1,17 \text{ В}$$

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

Коэффициент
пульсации = 0,0251
или 2,51%



$f = 120 \text{ Гц}$



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

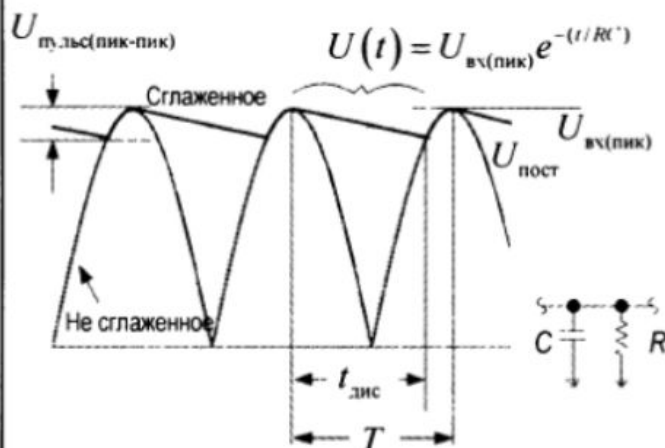
$$U_{\text{пульс(пик-пик)}} = \frac{U_{\text{вх(пик)}} T}{RC} = \frac{U_{\text{вх(пик)}}}{f \cdot RC}$$

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 $1/2 U_{\text{пульс(пик-пик)}}$

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

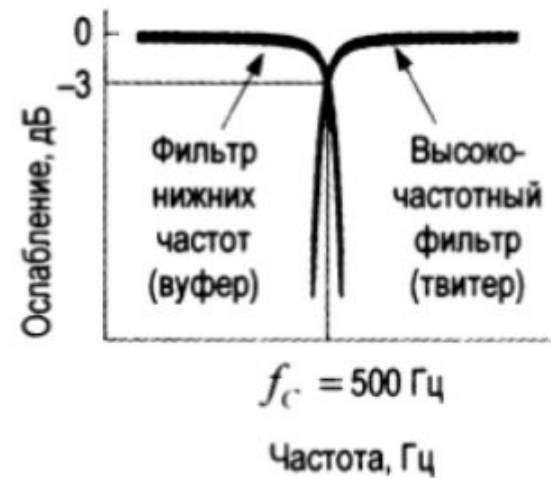
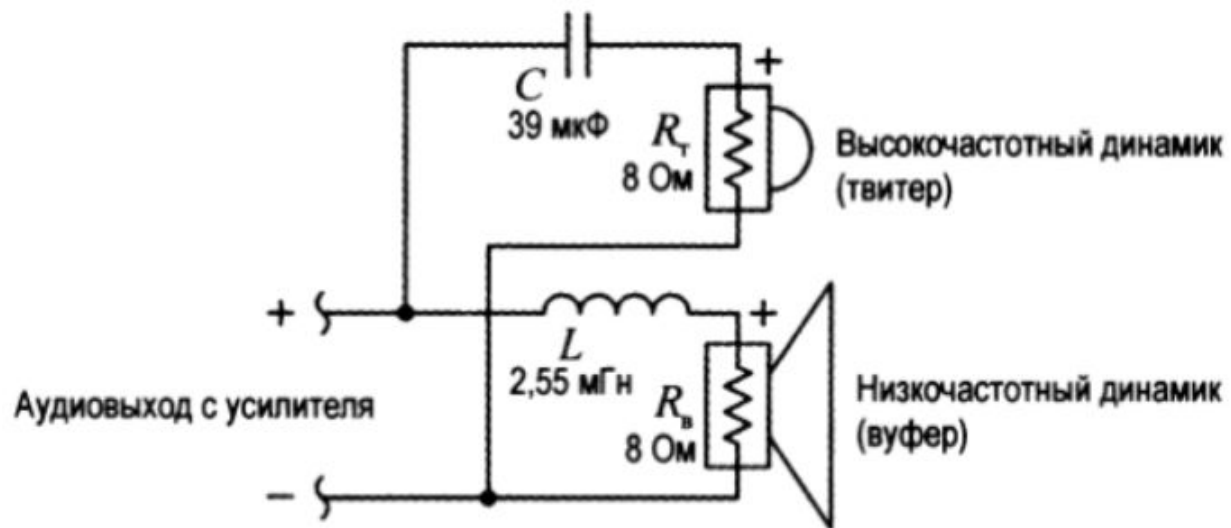
В тексте слева от графика объясняется, как вычислить $U_{\text{пульс(пик-пик)}}$. Таким образом.

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

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:

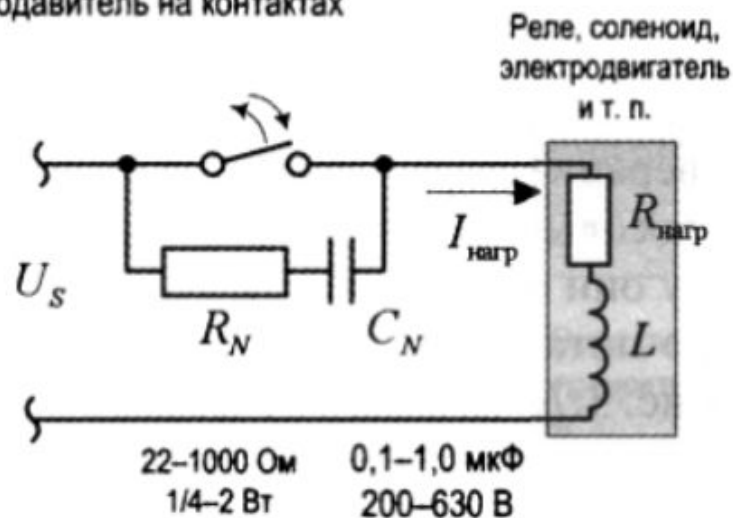
$$U_{\text{пост}} = U_{\text{вх(пик)}} \left[1 - \frac{1}{240RC} \right] \quad \text{Двухполу- периодный выпрямитель (f = 120 Гц)}$$

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

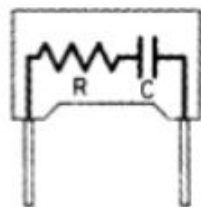


$$L = \frac{R_v}{2\pi f_c} \quad C = \frac{1}{2\pi R_t f_c}$$

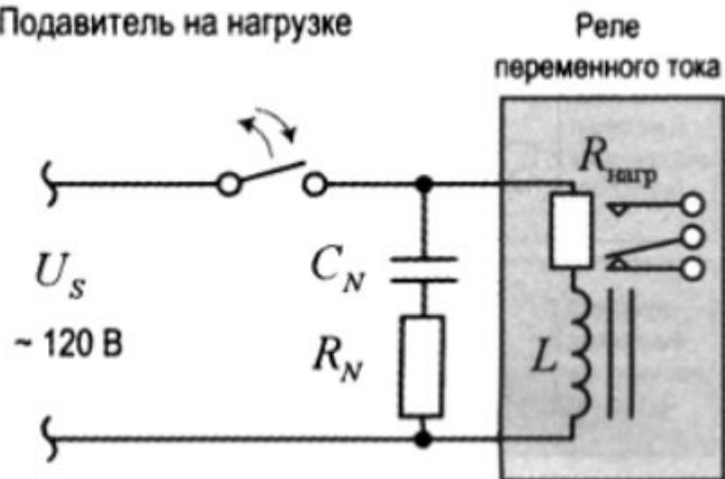
Подавитель на контактах



Устройство
с RC-контуром



Подавитель на нагрузке



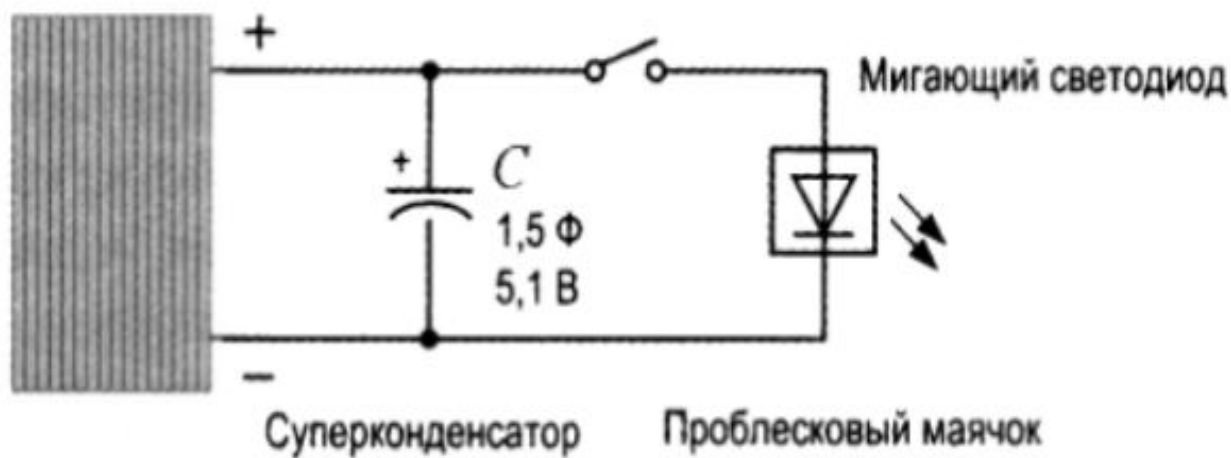
В функции RC-контра входит:

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.

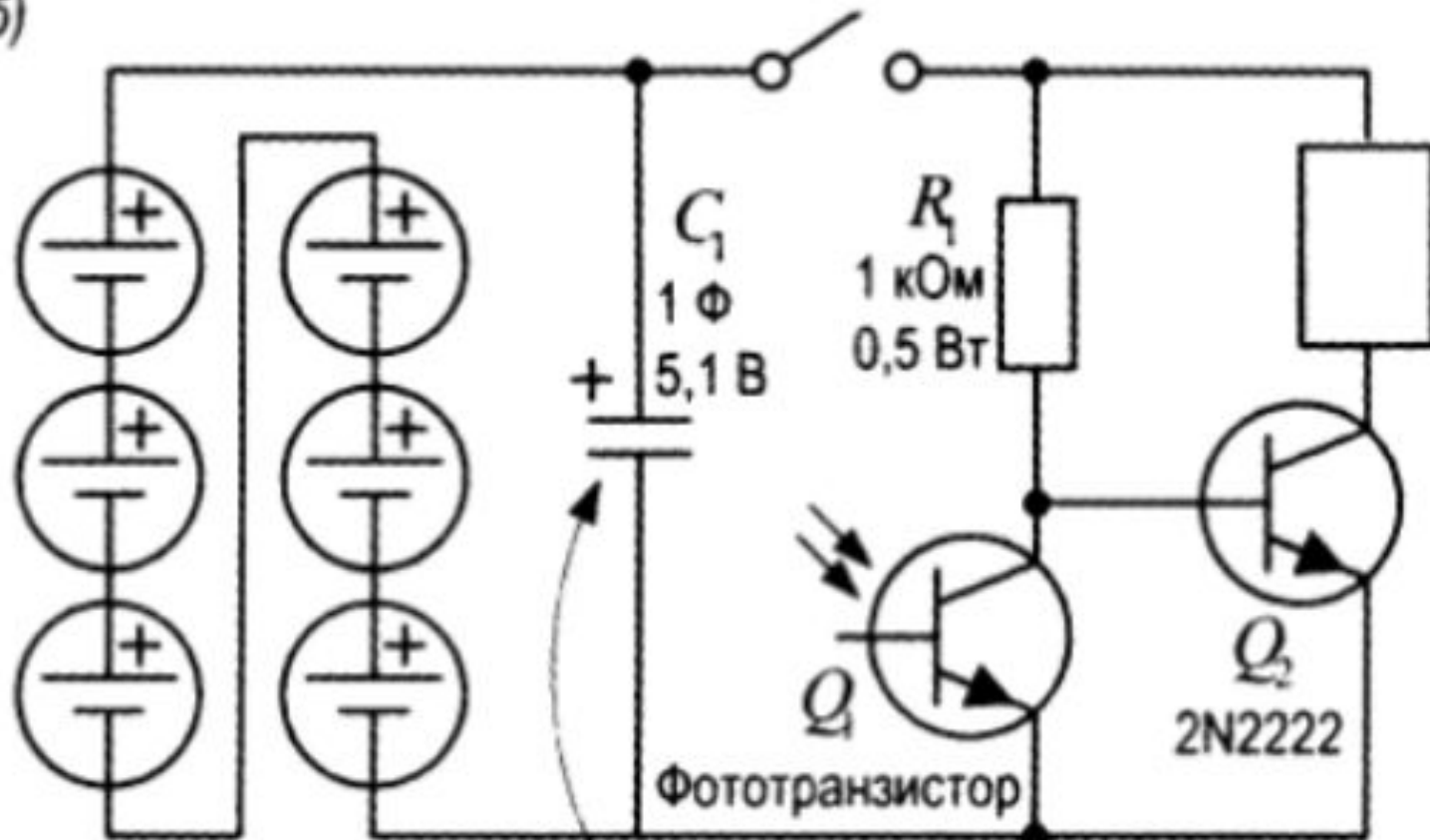
U_s — напряжение источника



или



5)



6 солнечных панелей
на 0,5 В, 5 мА

Суперконденсатор

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

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)

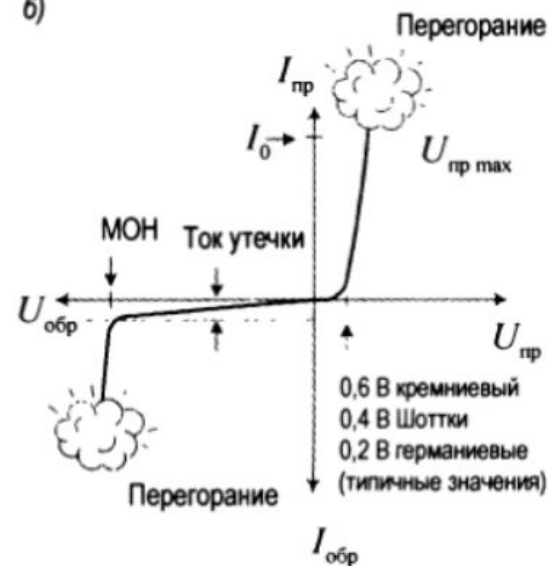
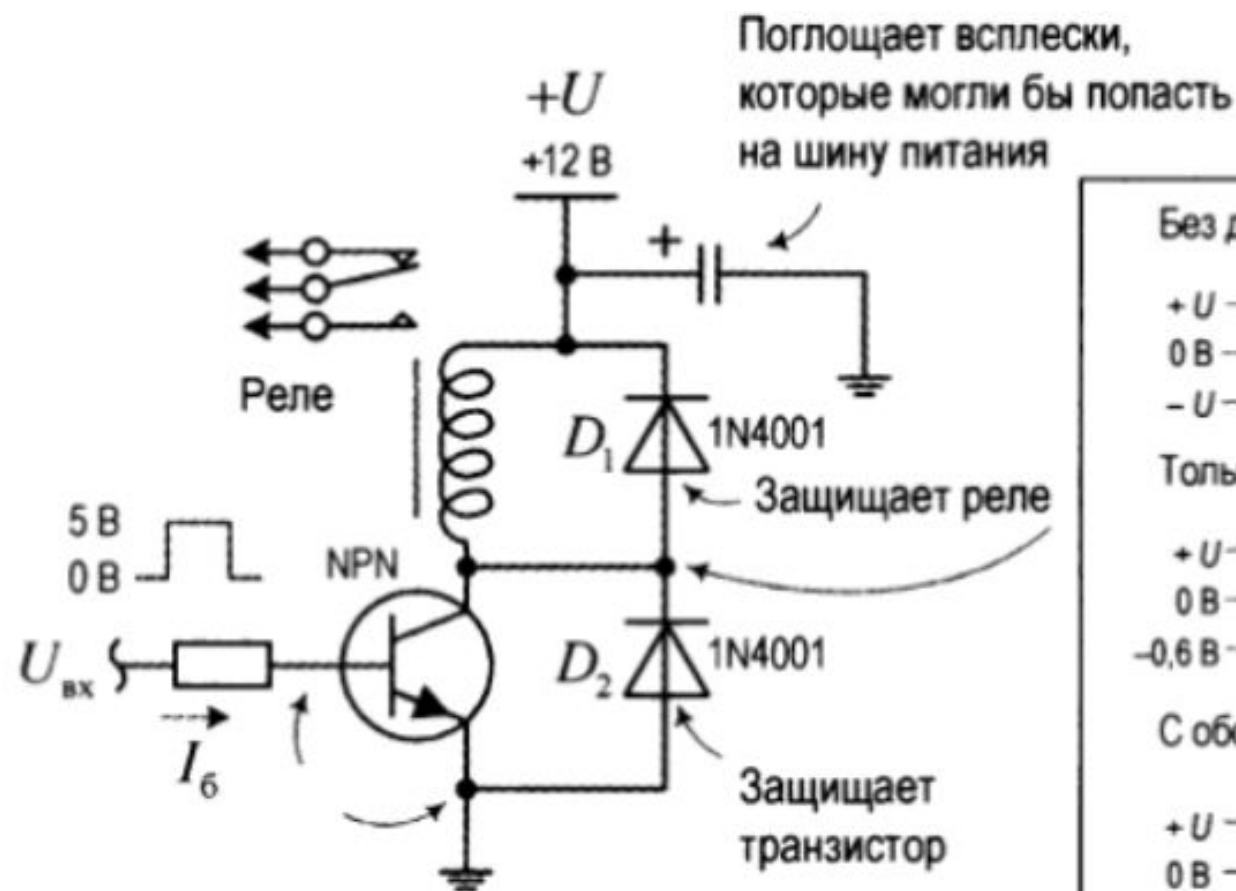
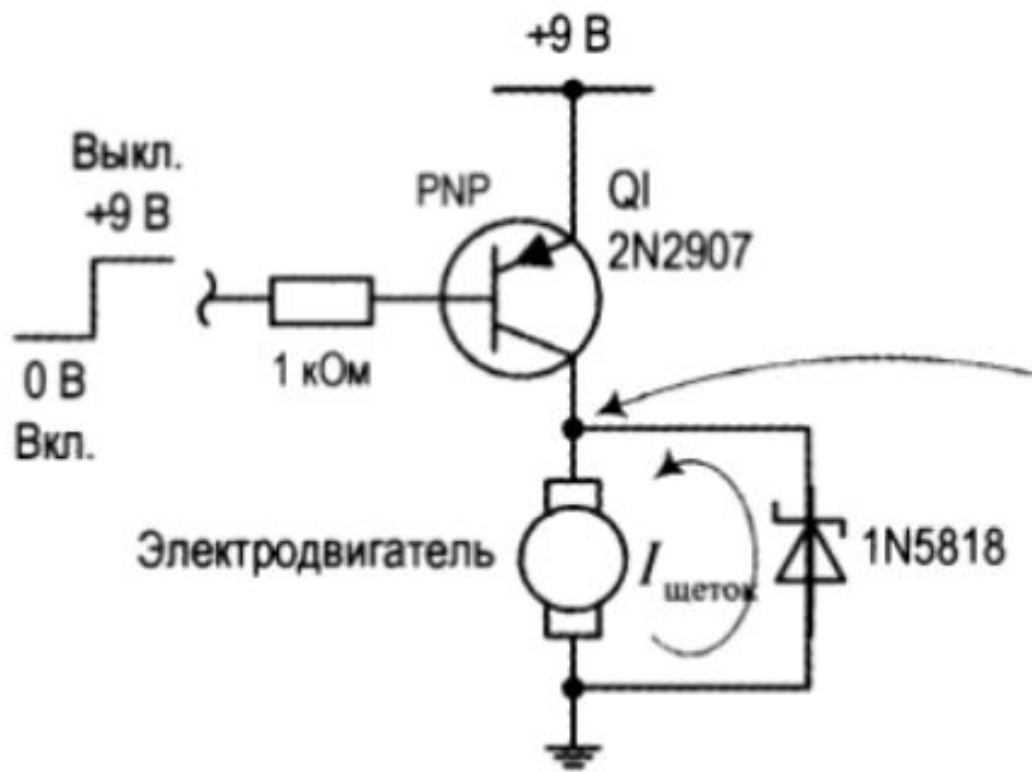


РИС. 4.13. Водяная аналогия диода (а) и кривая зависимости тока диода от напряжения (б). МОП — максимальное обратное напряжение; $I_{пр}$, $U_{пр}$ — ток и напряжение прямого смещения; $I_{обр}$, $U_{обр}$ — ток и напряжение обратного смещения

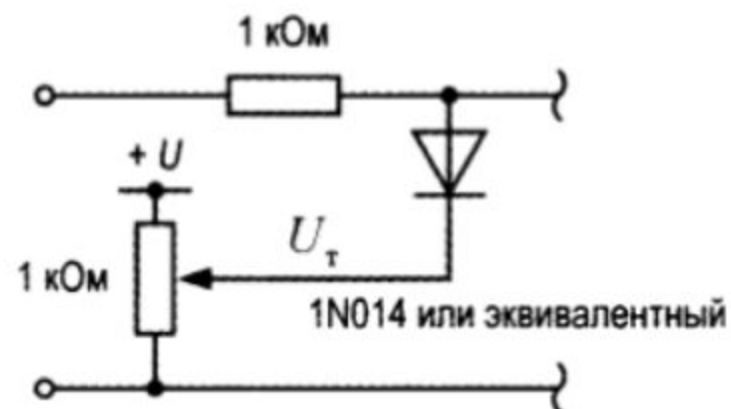
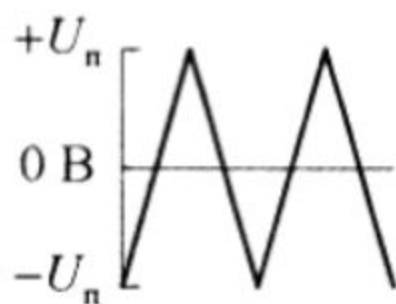


Реле вкл. при $U_{\text{вх}} = +5\text{ В}$ и выкл. $U_{\text{вх}} = 0\text{ В}$

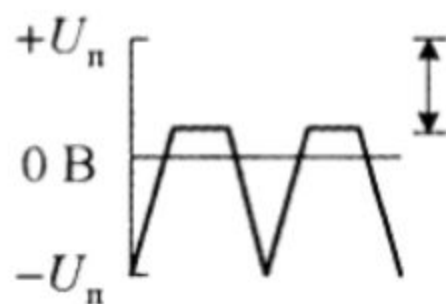
в)

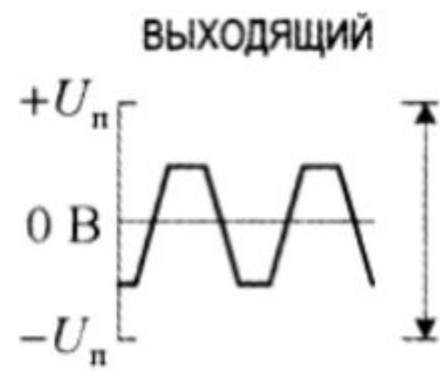
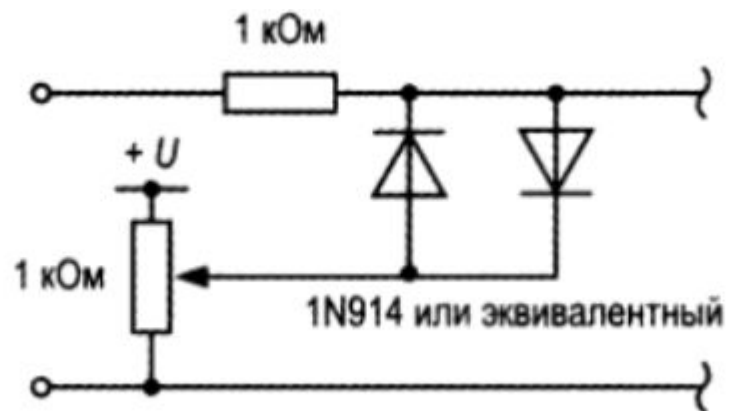
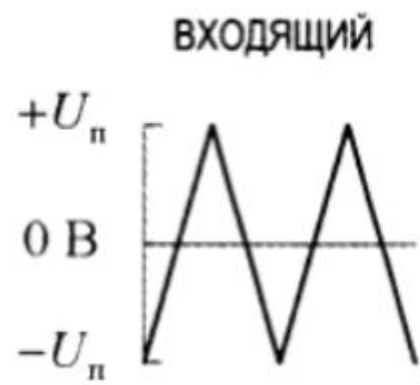


ВХОДЯЩИЙ



ВЫХОДЯЩИЙ





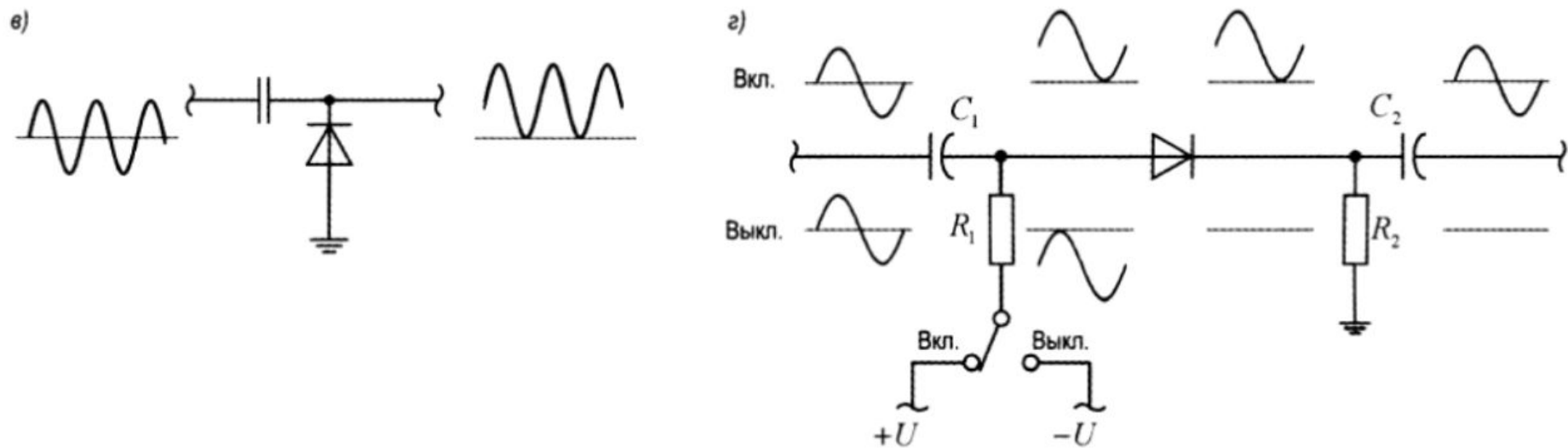


РИС. 4.19. Диодные фиксаторы уровня: а — регулируемый ограничитель сигнала; б — регулируемый аттенюатор; в — диодный фиксатор напряжения; г — диодный выключатель. U_n , U_T — пиковое напряжение и напряжение среднего вывода потенциометра