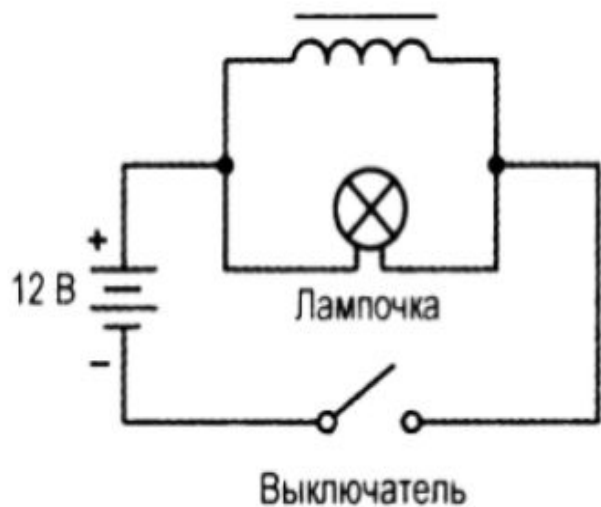
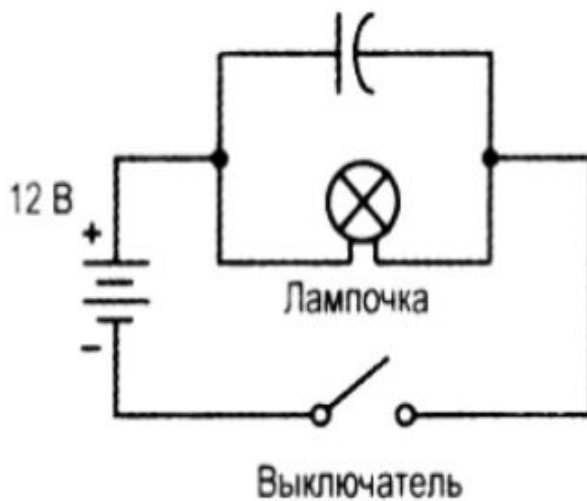


# РАЗЛИЧНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЛАМПОЧКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО КОМПОНЕНТА

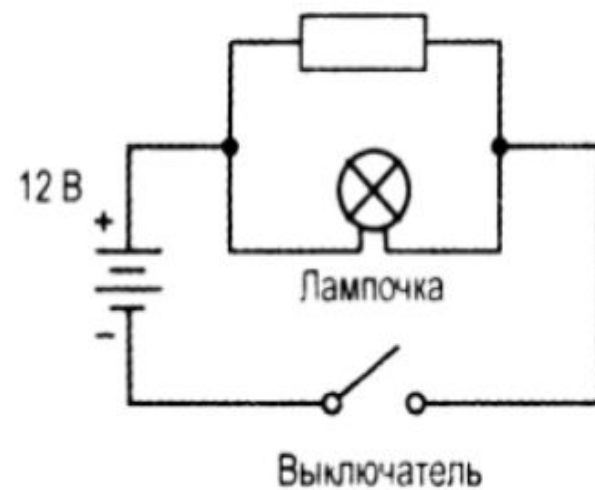
Индуктор с железным сердечником



Конденсатор



Резистор



$$E_{\text{конд}} = \int UI dt = \int UC \frac{dU}{dt} dt = \int CU dU = \frac{1}{2} CU. \quad (2.42)$$

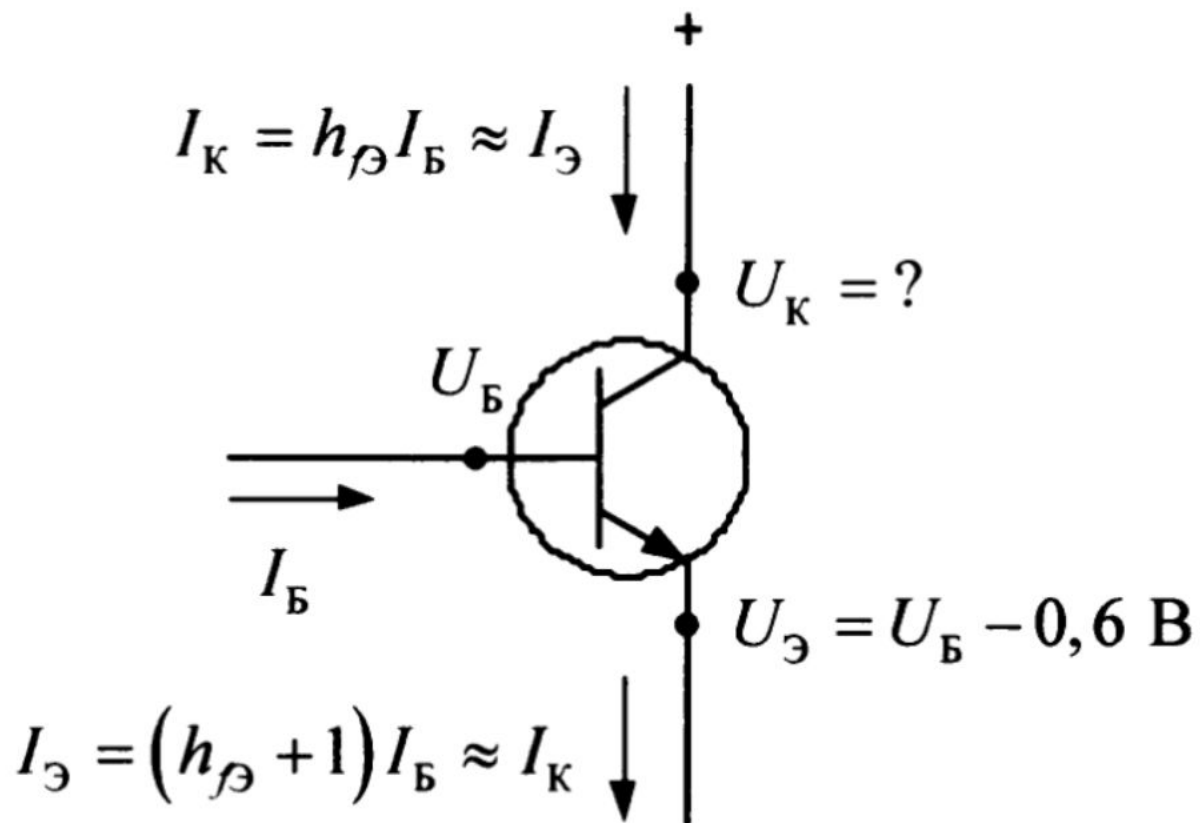
### **ПРИМЕР**

Определить, сколько энергии сохранится в конденсаторе емкостью 1000 мкФ при подаче на него напряжения величиной 5 В.

*Решение.* 
$$E_{\text{конд}} = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} (1000 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}) (5 \text{ В})^2 = 0,0125 \text{ Дж.}$$

Элемент	Внутреннее сопротивление, Ом
9 В углещинковый	35
9 В литиевый	16–18
9 В щелочной	1–2
AA щелочной	0,15 (0,30 Ом при 50-процентной разрядке)
AA никель-марганцевый	0,02 (0,04 Ом при 50-процентной разрядке)
D щелочной	0,1
D никель-кадмиевый	0,009
D герметичные свинцово-кислотные	0,006
AC13 воздушно-цинковый	5
76 серебряный	10
675 ртутный	10

*n-p-n*



В схеме на рис. 4.49  $U_{\text{пит}} = +20 \text{ В}$ ,  $U_{\text{Б}} = 5,6 \text{ В}$ ,  $R_1 = 4,7 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 3,3 \text{ кОм}$  и  $h_{\text{Ф}} = 100$ . Определить  $U_{\text{Э}}$ ,  $I_{\text{Э}}$ ,  $I_{\text{Б}}$ ,  $I_{\text{К}}$  и  $U_{\text{К}}$ .

*Решение.*

$$U_{\text{Э}} = U_{\text{Б}} - 0,6 \text{ В};$$

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

$$I_{\text{Э}} = \frac{U_{\text{Э}} - 0 \text{ В}}{R_2} = \frac{5,0 \text{ В}}{3300 \text{ Ом}} = 1,5 \text{ мА};$$

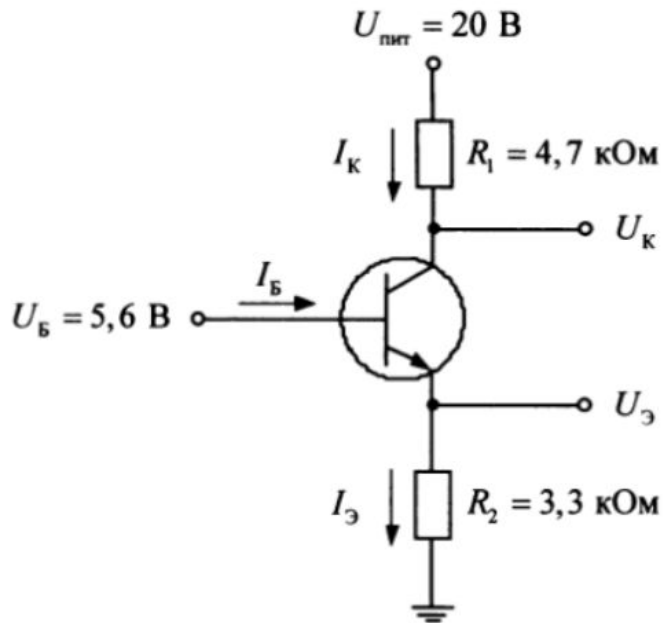
$$I_{\text{Б}} = \frac{I_{\text{Э}}}{1 + h_{\text{Ф}}} = \frac{1,5 \text{ мА}}{1 + 100} = 0,015 \text{ мА};$$

$$I_{\text{К}} = I_{\text{Э}} - I_{\text{Б}} \approx I_{\text{Э}} = 1,5 \text{ мА};$$

$$U_{\text{К}} = U_{\text{пит}} - I_{\text{К}} R_1;$$

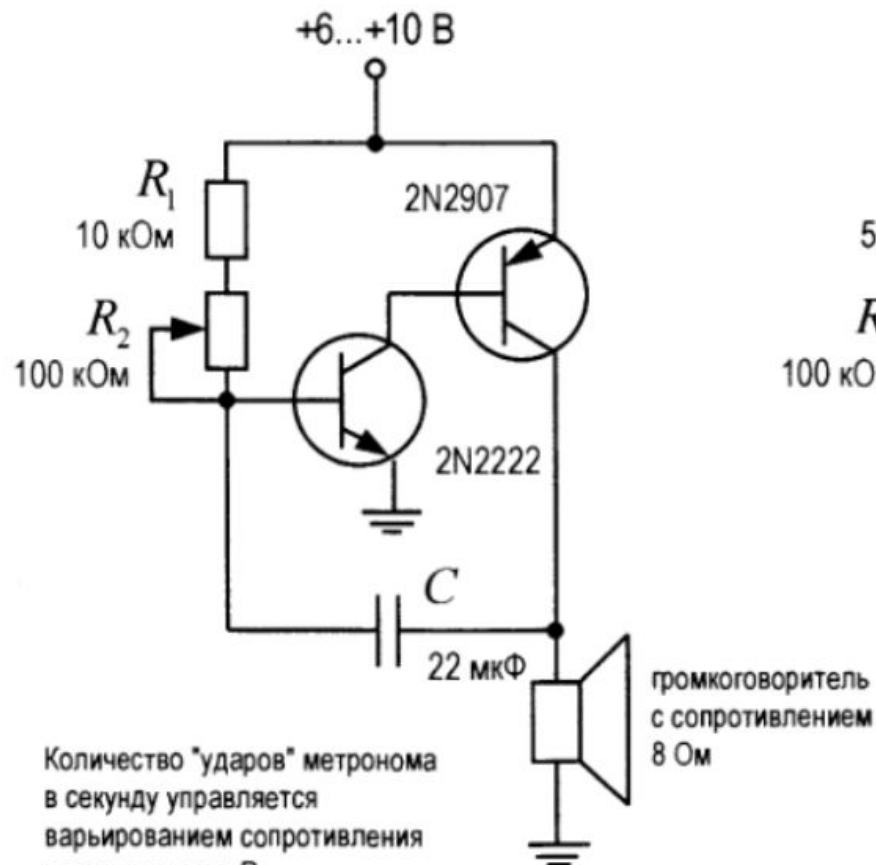
$$U_{\text{К}} = 20 \text{ В} - (1,5 \text{ мА})(4700 \text{ Ом});$$

$$U_{\text{К}} = 13 \text{ В}.$$

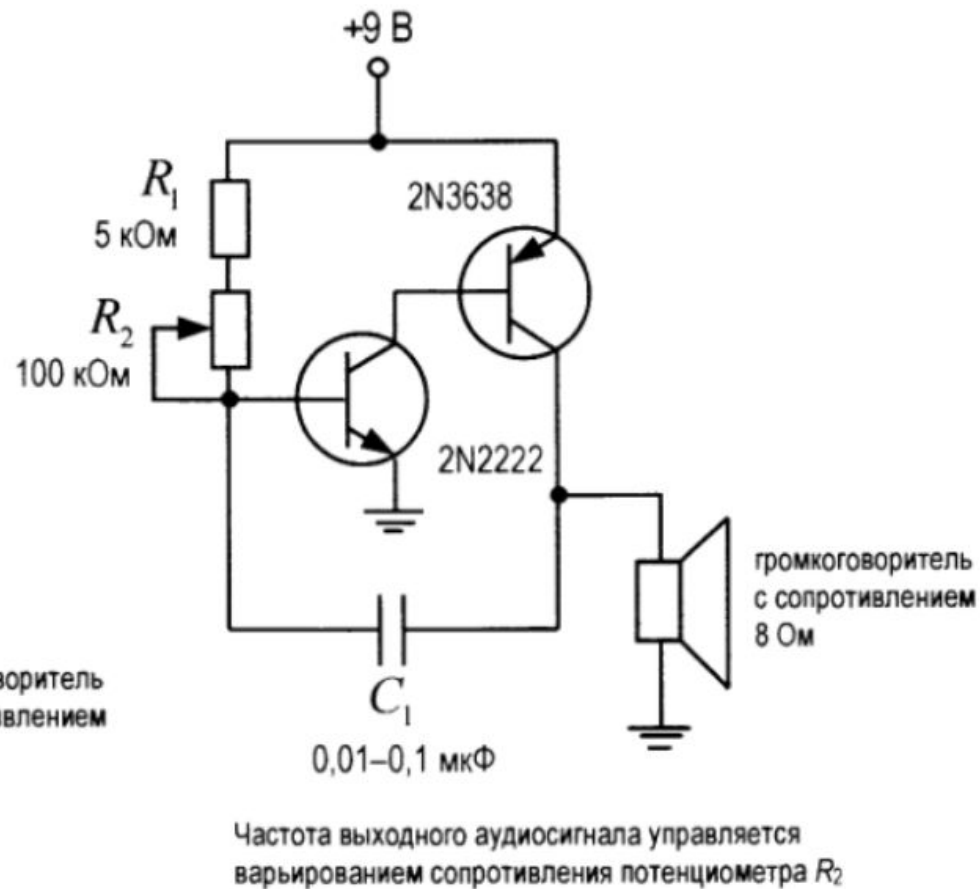


**РИС. 4.49.** Определение токов и напряжений транзистора *n-p-n*-типа

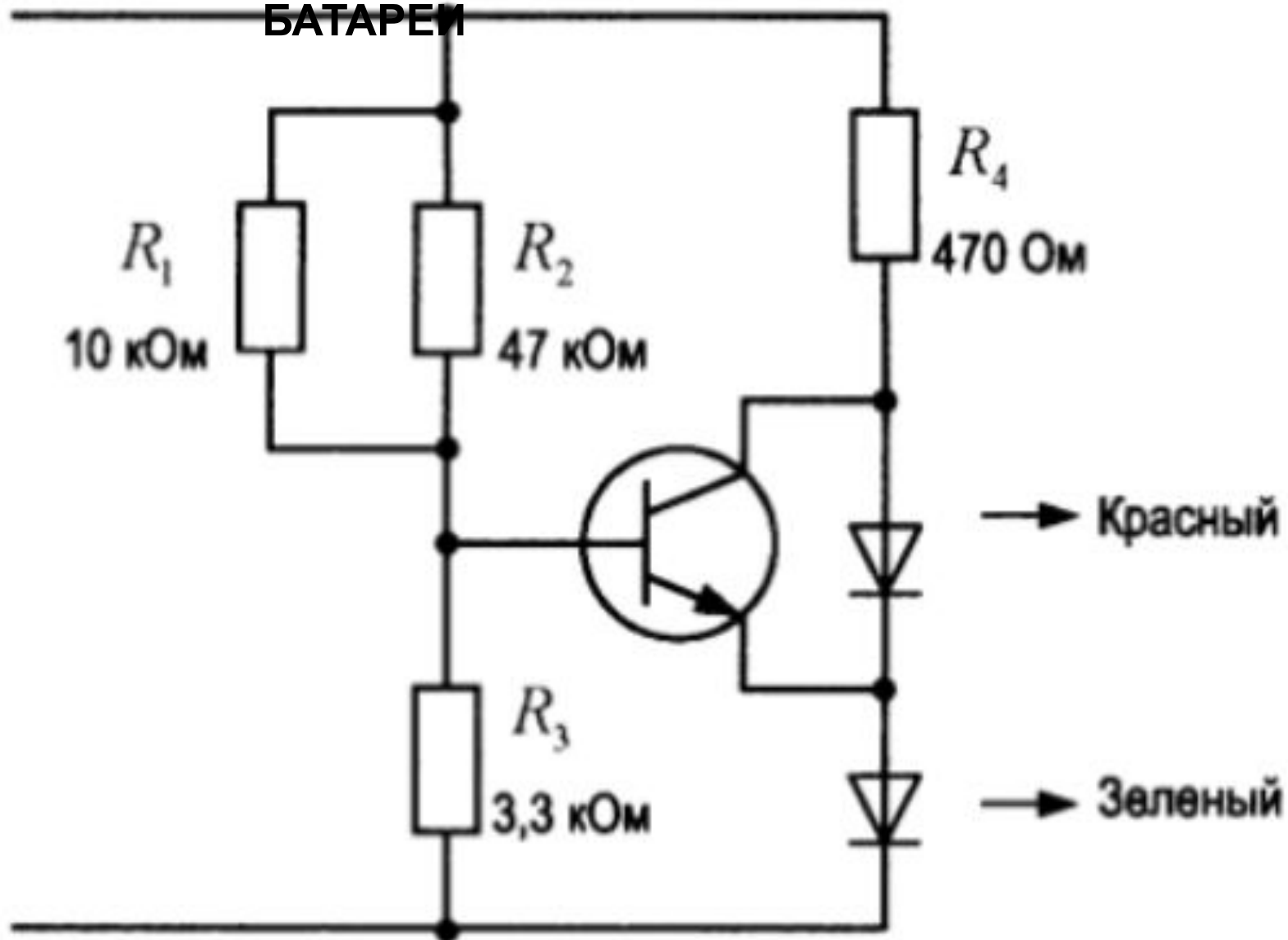
## Метроном



## Генератор звукового сигнала

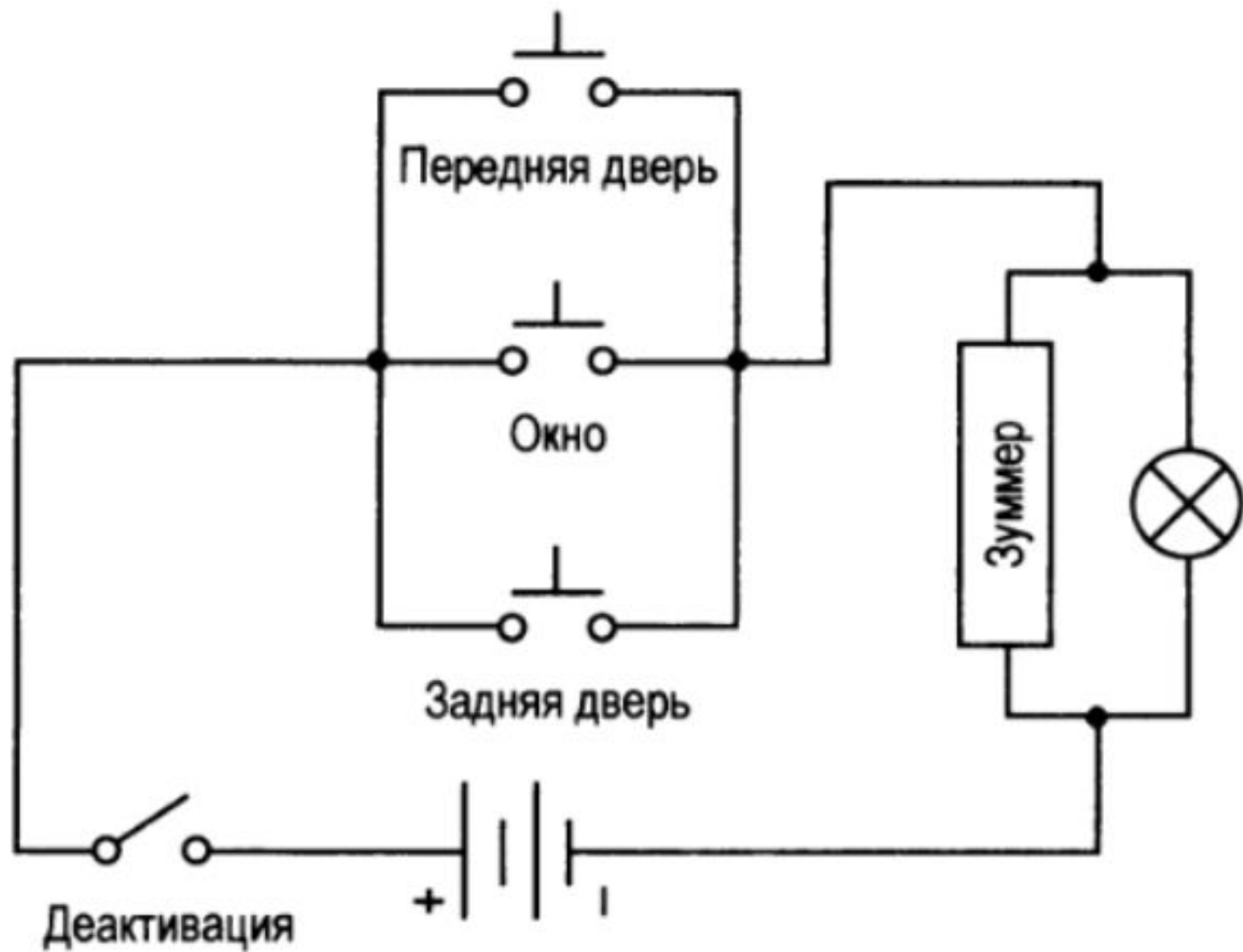


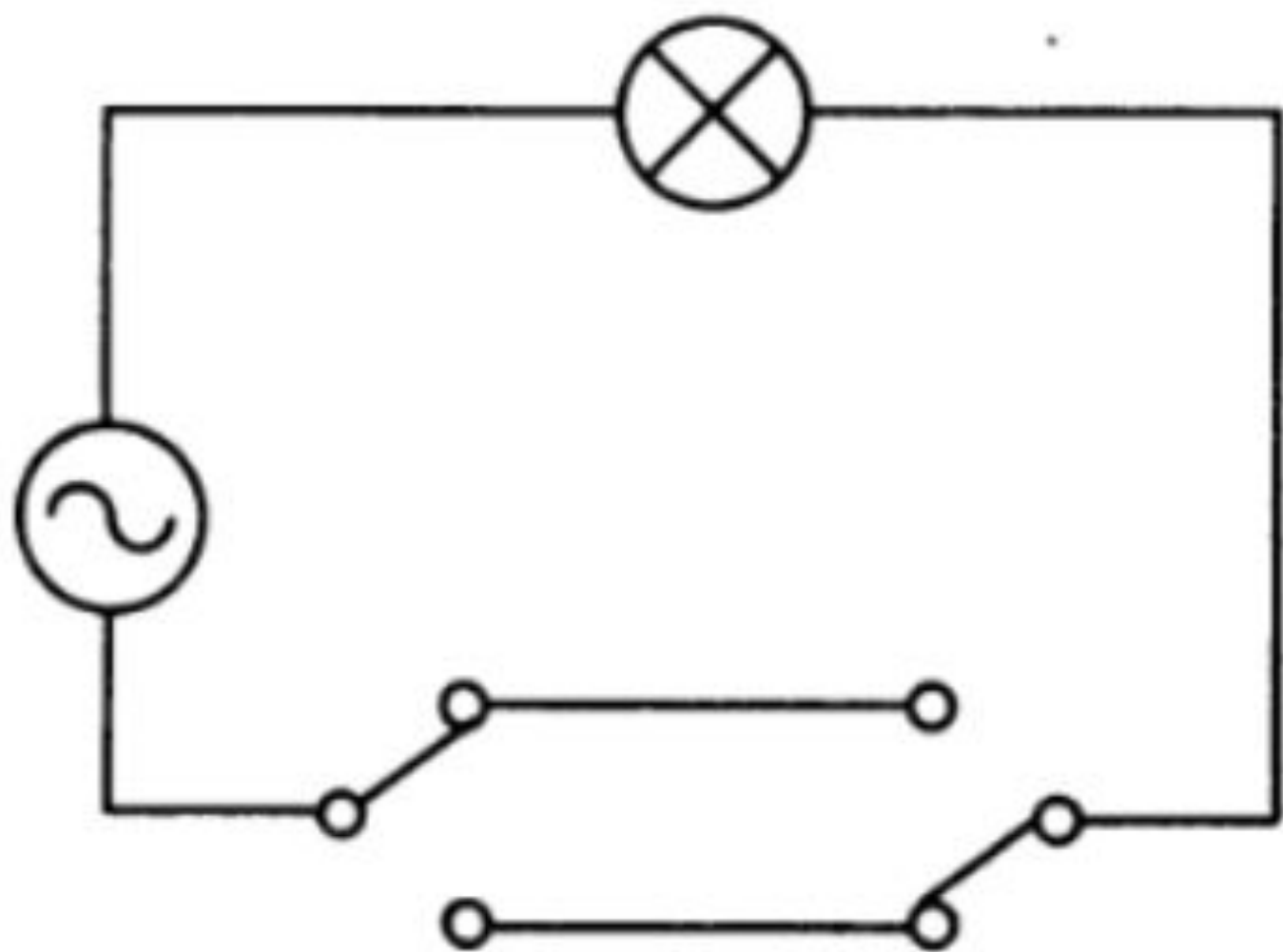
# ИНДИКАТОР УРОВНЯ ЗАРЯДА БАТАРЕИ

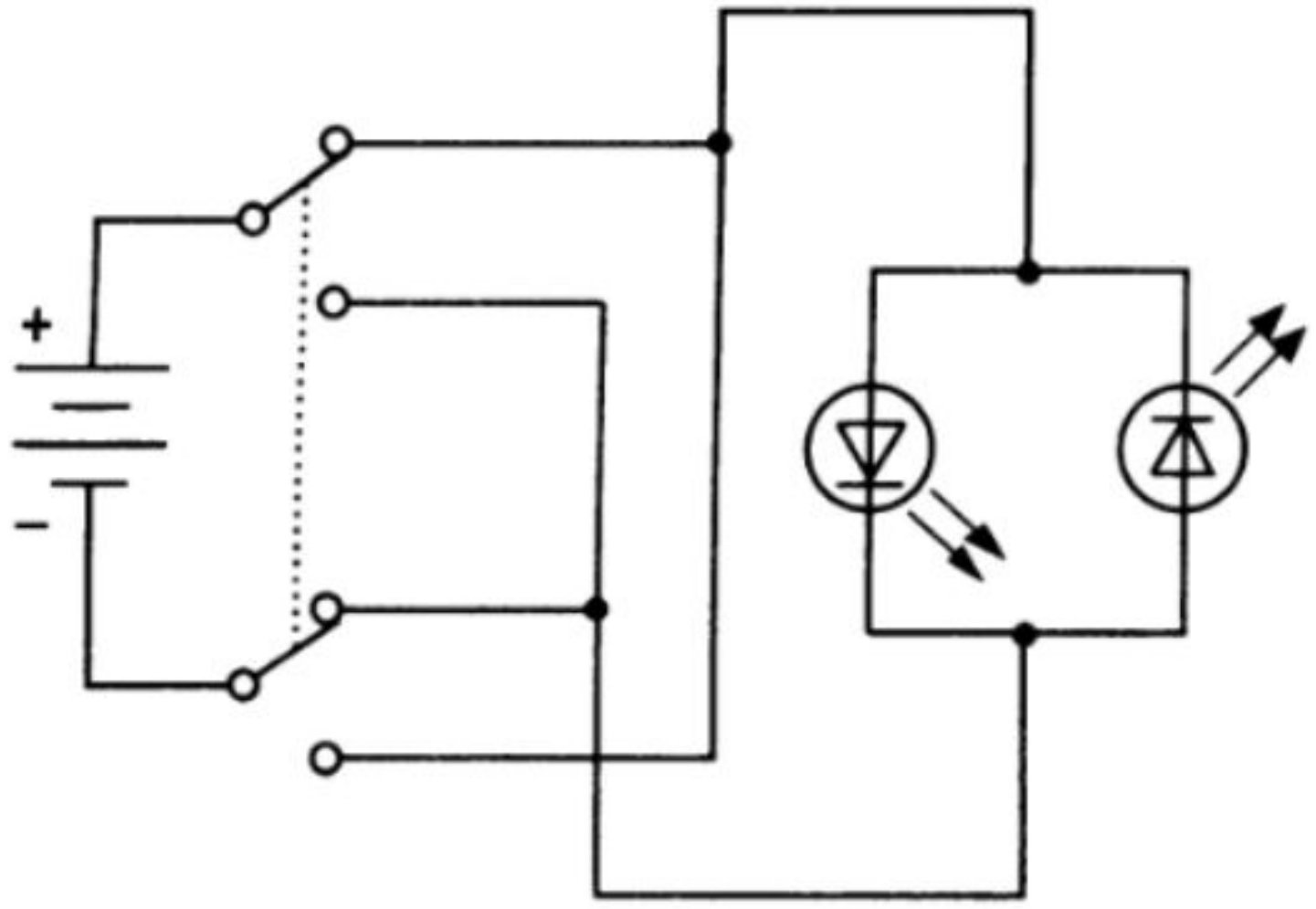


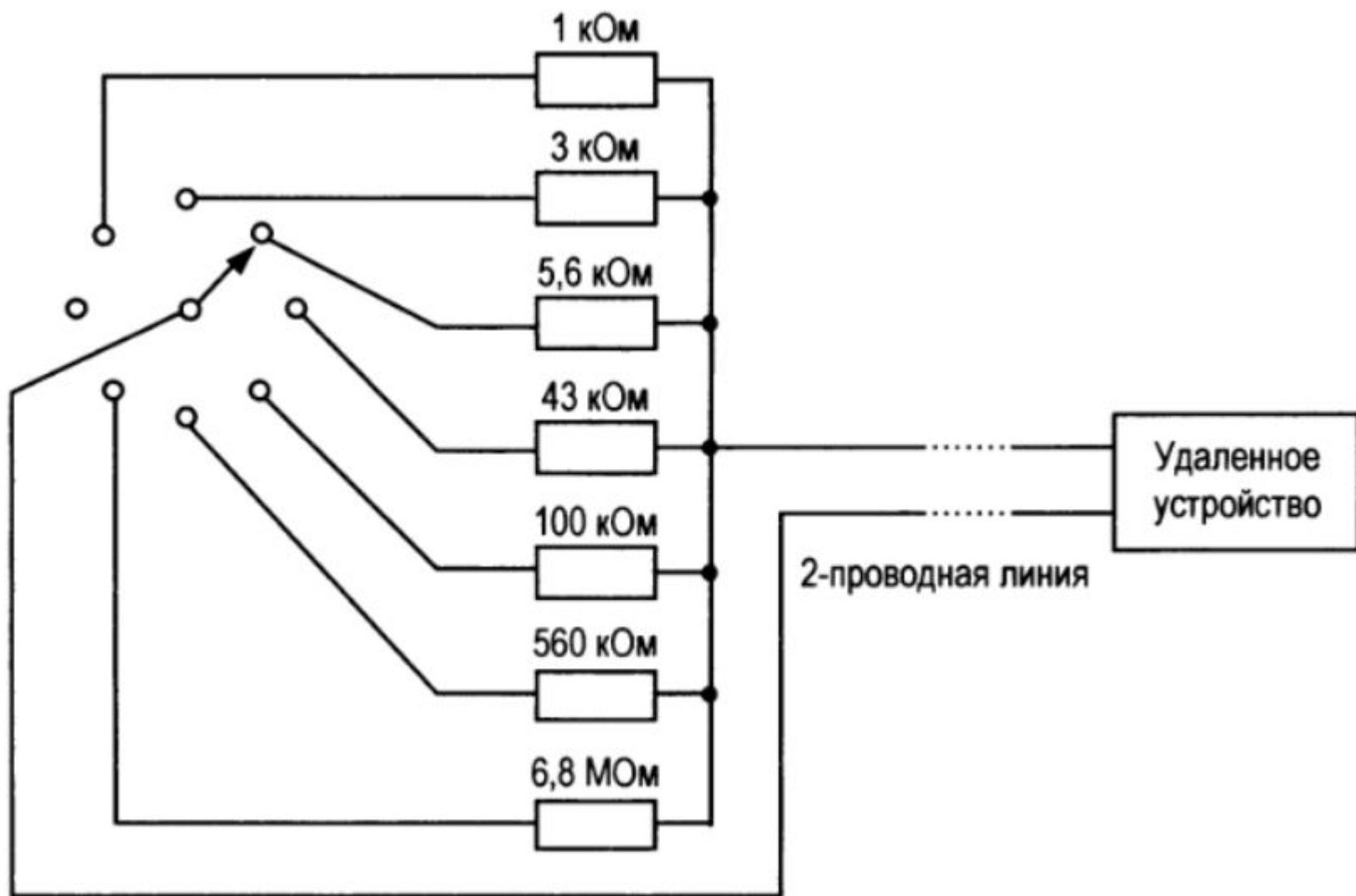
В схеме на рис. 3.32 активированный зеленый светодиод означает, что элемент имеет достаточный заряд. Зеленый светодиод будет гореть все время, пока напряжение элемента находится в рабочем диапазоне; красный светодиод загорается, когда напряжение упадет ниже установленного порогового значения. Напряжение для активирования зеленого светодиода составляет около 2,0 В. Это значение может несколько отличаться для светодиодов разных производителей, но для светодиодов одной партии одного производителя будет постоянным. Добавим к этому напряжению напряжение между базой и эмиттером и получим, что для включения транзистора нам требуется 2,6 В на его базе (т. е. на резисторе  $R_3$ ). Чтобы получить 2,6 В на резисторе  $R_3$ , требуется 9,1 В на шине питания. Если напряжение ниже этого порогового значения, транзистор **выключается и включается красный диод.**





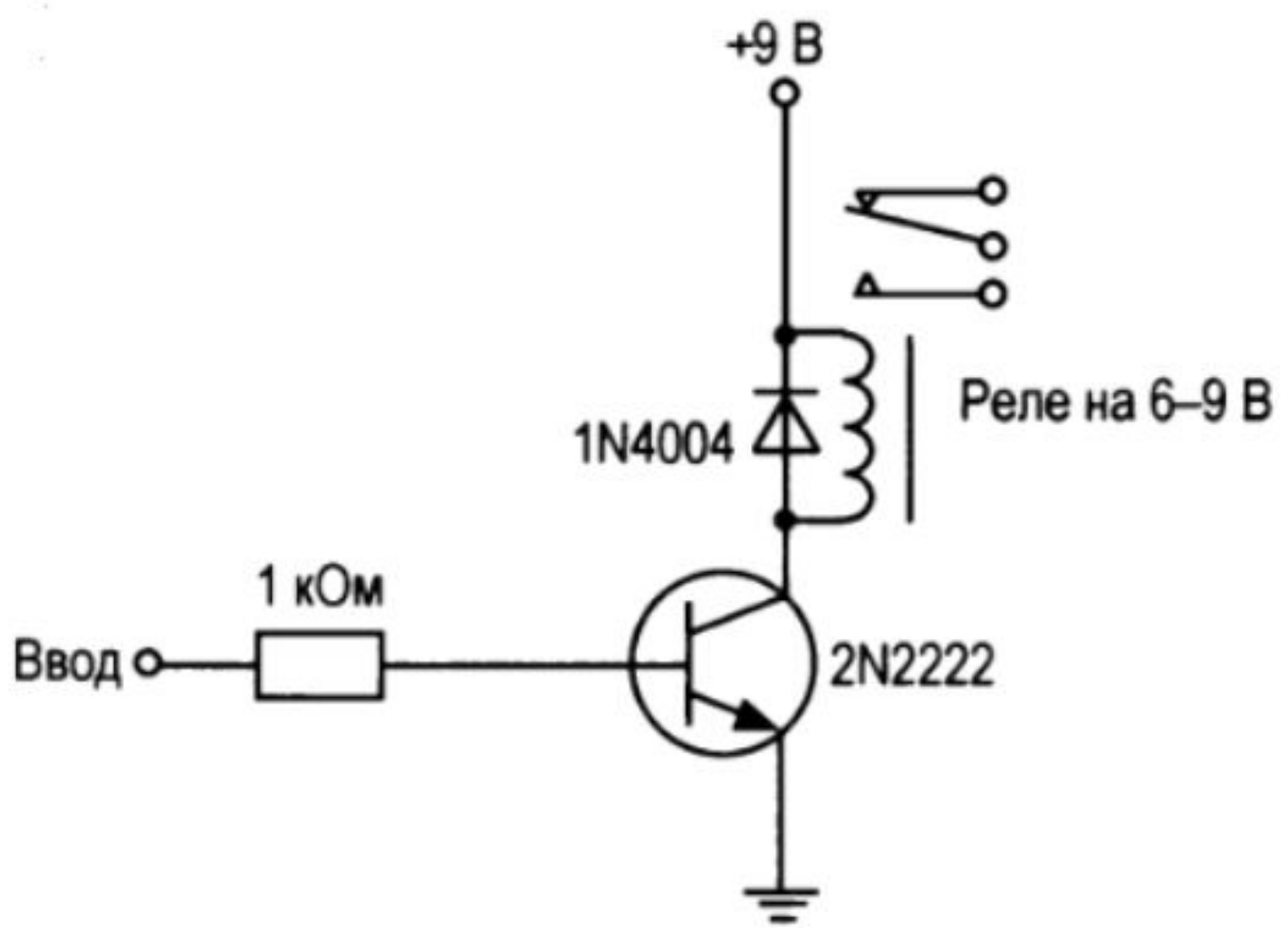






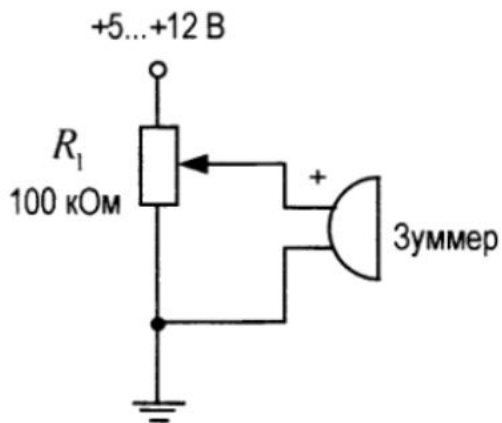
## **Выбор одной из нескольких опций на удаленном устройстве**

Допустим, что нам нужно управлять каким-либо удаленным устройством по двухпроводной линии, выбирая одну из нескольких опций на нем. В качестве способа реализации такой системы управления можно спроектировать устройство таким образом, чтобы установка определенного значения одному из его резисторов активировала соответствующую функцию. Данный резистор может входить в состав делителя напряжения, быть подключенным каким-либо образом к набору двухпороговых компараторов (см. материал по операционным усилителям) или к преобразователю аналоговых сигналов в цифровые. Вычислив значения резисторов для активирования отдельных функций, подключаем резисторы соответствующих номиналов к поворотному переключателю (рис. 3.40). Теперь мы можем управлять устройством, просто установив вращающийся переключатель в положение, в котором выбирается резистор, соответствующий требуемой функции.



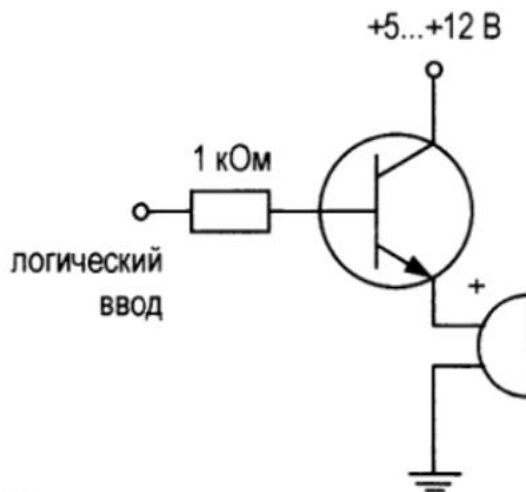
показана принципиальная схема устройства для управления реле произвольным (в допустимых пределах) напряжением. В данной схеме биполярный NPN-транзистор играет роль вентиля для тока управления реле. При отсутствии напряжения на базе транзистора его коллекторно-эмиттерный переход закрыт, блокируя протекание тока через катушку электромагнита реле. Но подача на базу транзистора напряжения достаточной величины открывает коллекторно-эмиттерный переход, позволяя протекание тока через электромагнит.

### Управление громкостью зуммера

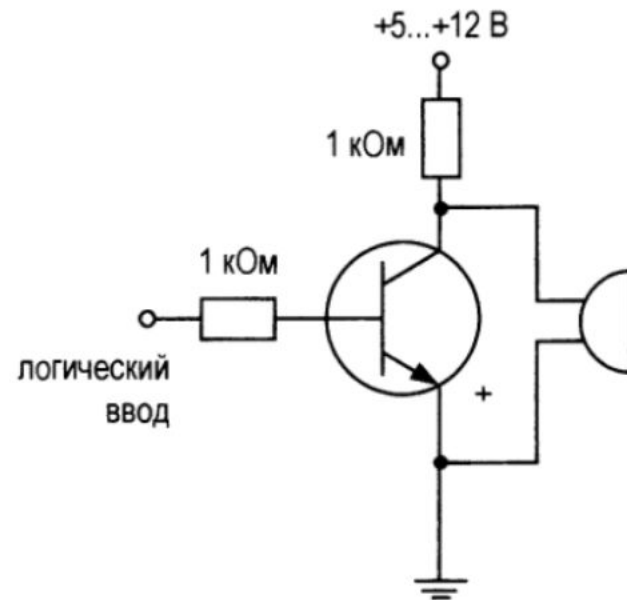


Громкость звука управляется изменением сопротивления потенциометра  $R$

### Цифровое активирование зуммера



Сигнал высокого уровня на входе активирует зуммер

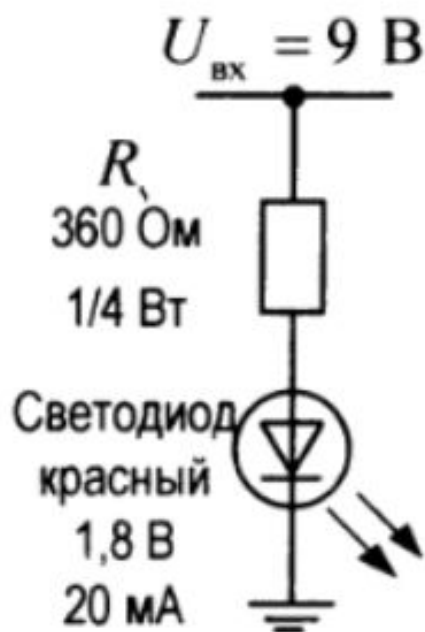


Сигнал низкого уровня на входе активирует зуммер

Зуммер включается при потенциале базы относи-

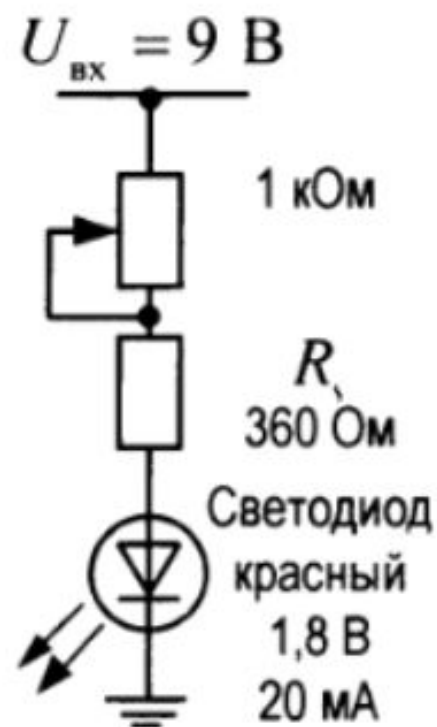
Зуммер включается при потенциале базы относи-

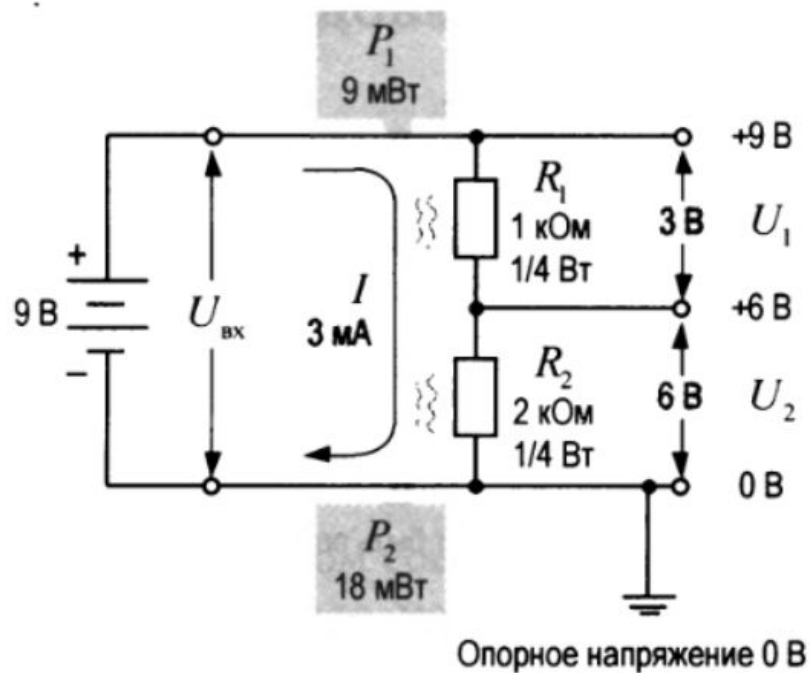




Управление  
яркостью

$$R_1 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{сд}}}{I_{\text{сд}}}$$





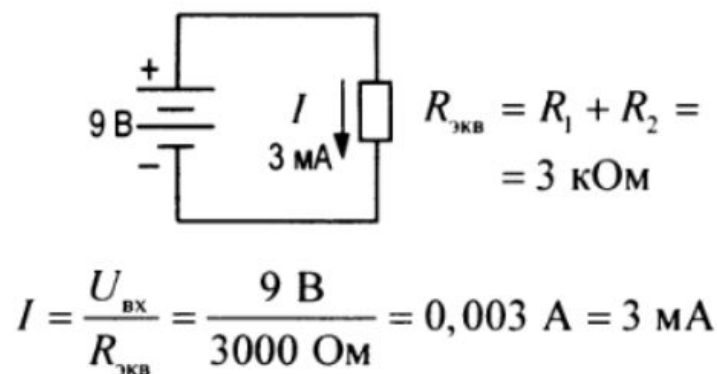
$$U_1 = IR_1 = 0,003 \text{ А} \cdot 1000 \text{ Ом} = 3 \text{ В}$$

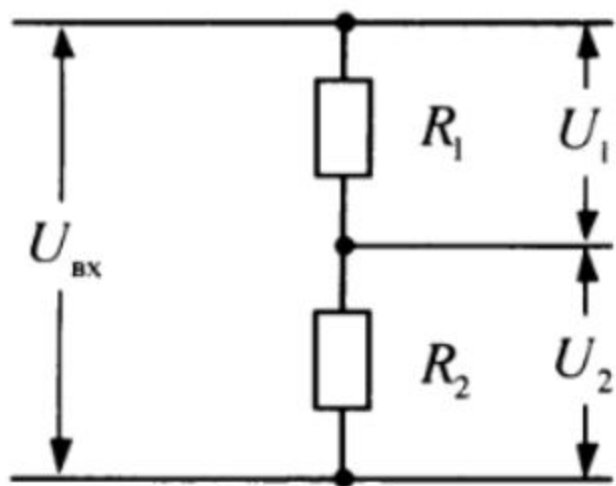
$$U_2 = IR_2 = 0,003 \text{ А} \cdot 2000 \text{ Ом} = 6 \text{ В}$$

$$P_1 = IU_1 = 0,003 \text{ А} \cdot 3 \text{ В} = 0,009 \text{ Вт} = 9 \text{ мВт}$$

$$P_2 = IU_2 = 0,003 \text{ А} \cdot 6 \text{ В} = 0,018 \text{ Вт} = 18 \text{ мВт}$$

Эквивалентная схема

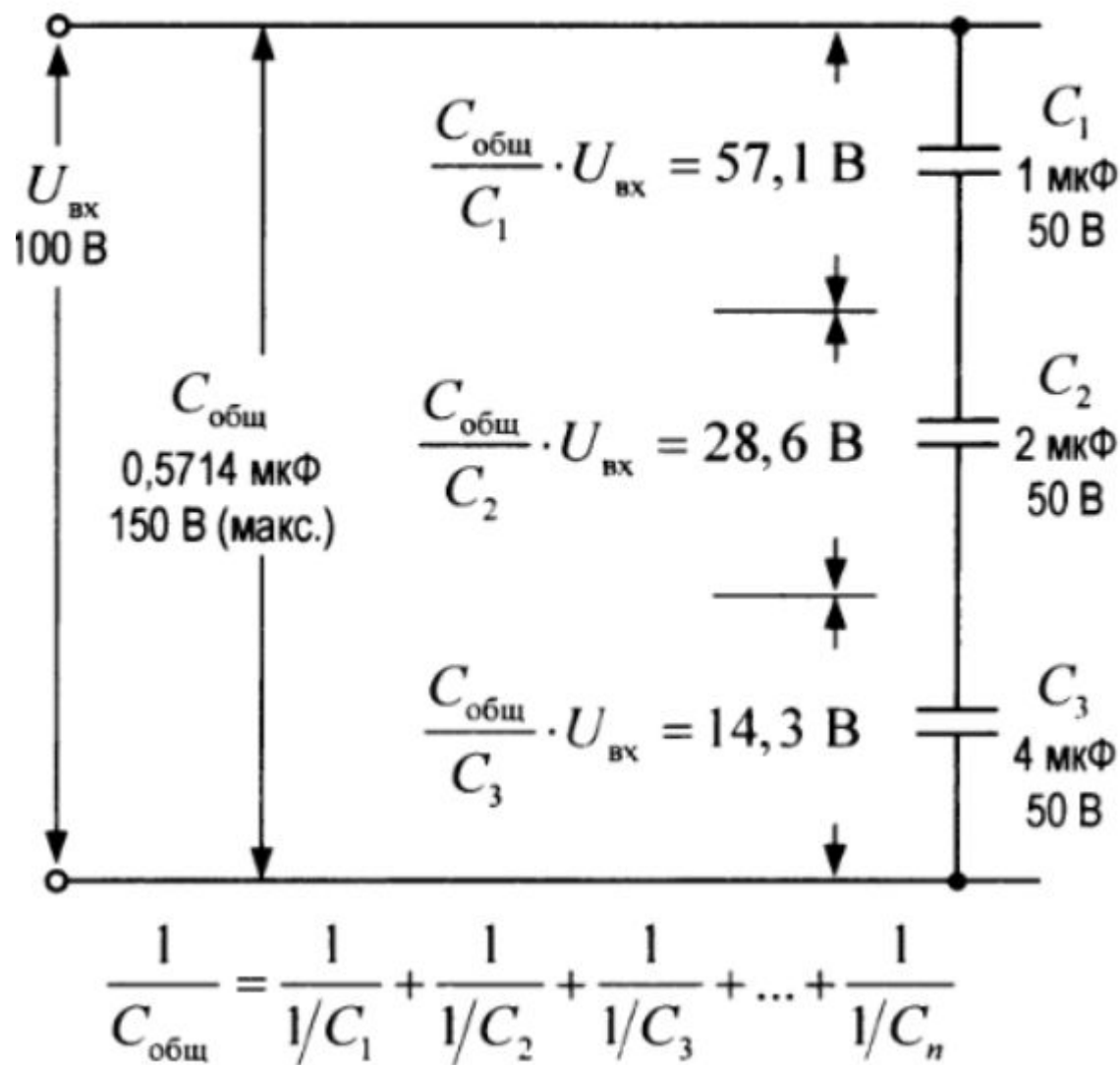




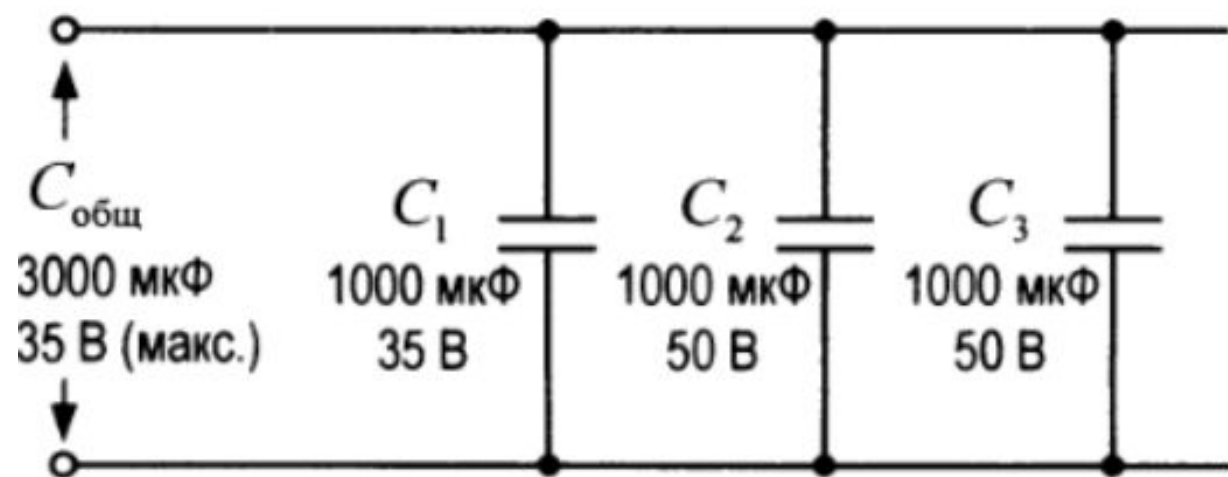
$$U_1 = U_{\text{BX}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_{\text{BX}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Повышает максимальное номинальное напряжение,  
но понижает общую емкость

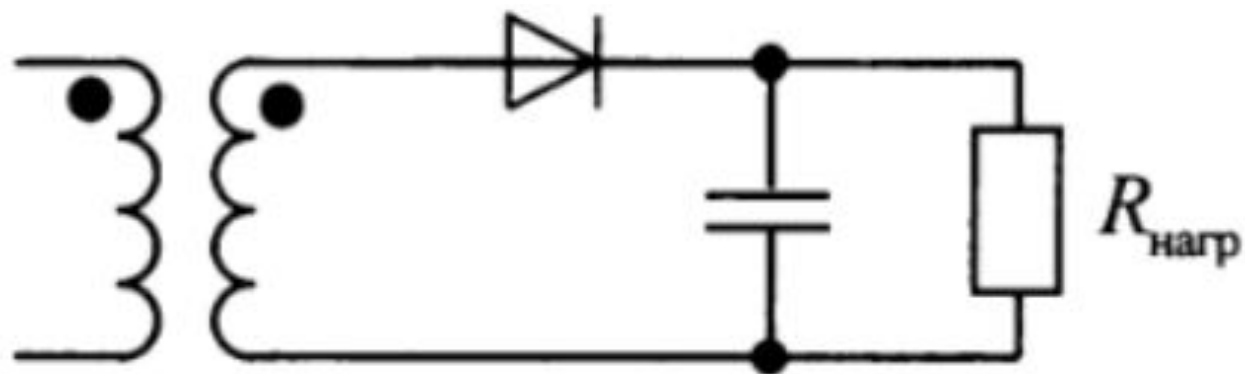


Повышает общую емкость, но ограничивает максимальное номинальное напряжение наименьшим номинальным напряжением среди всех конденсаторов

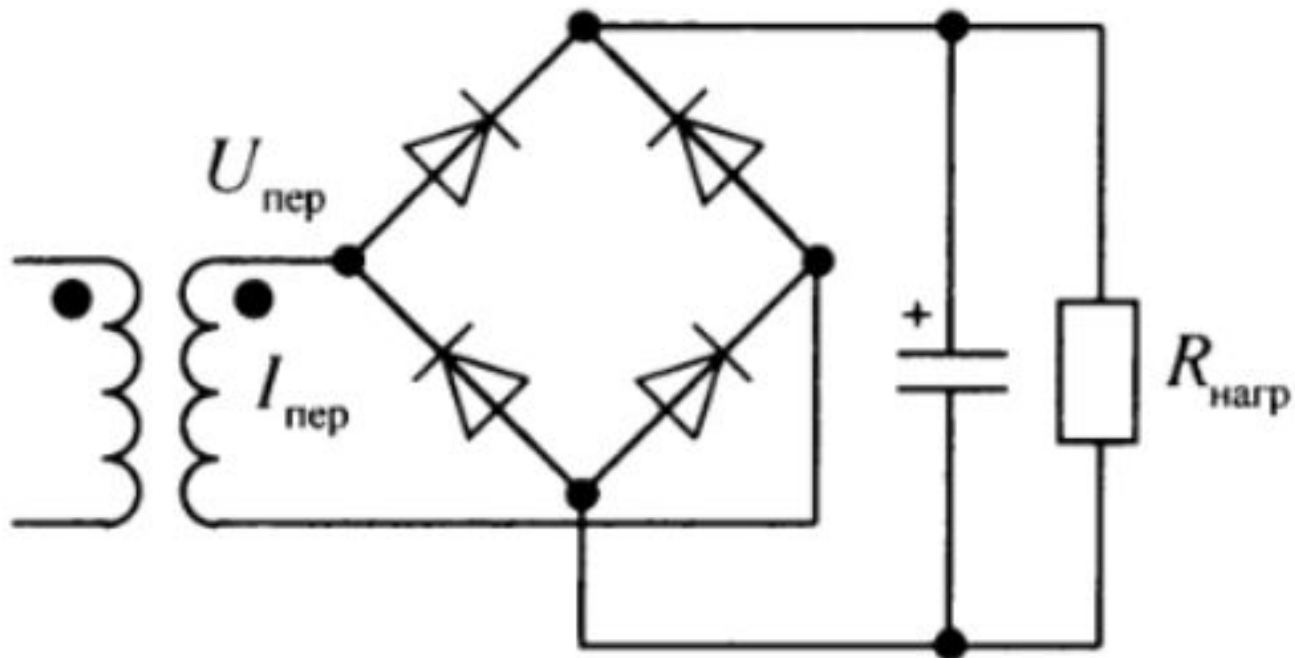


$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

ОДНОПОЛУПЕРИОДНЫЙ  
ВЫПРЯМИТЕЛЬ

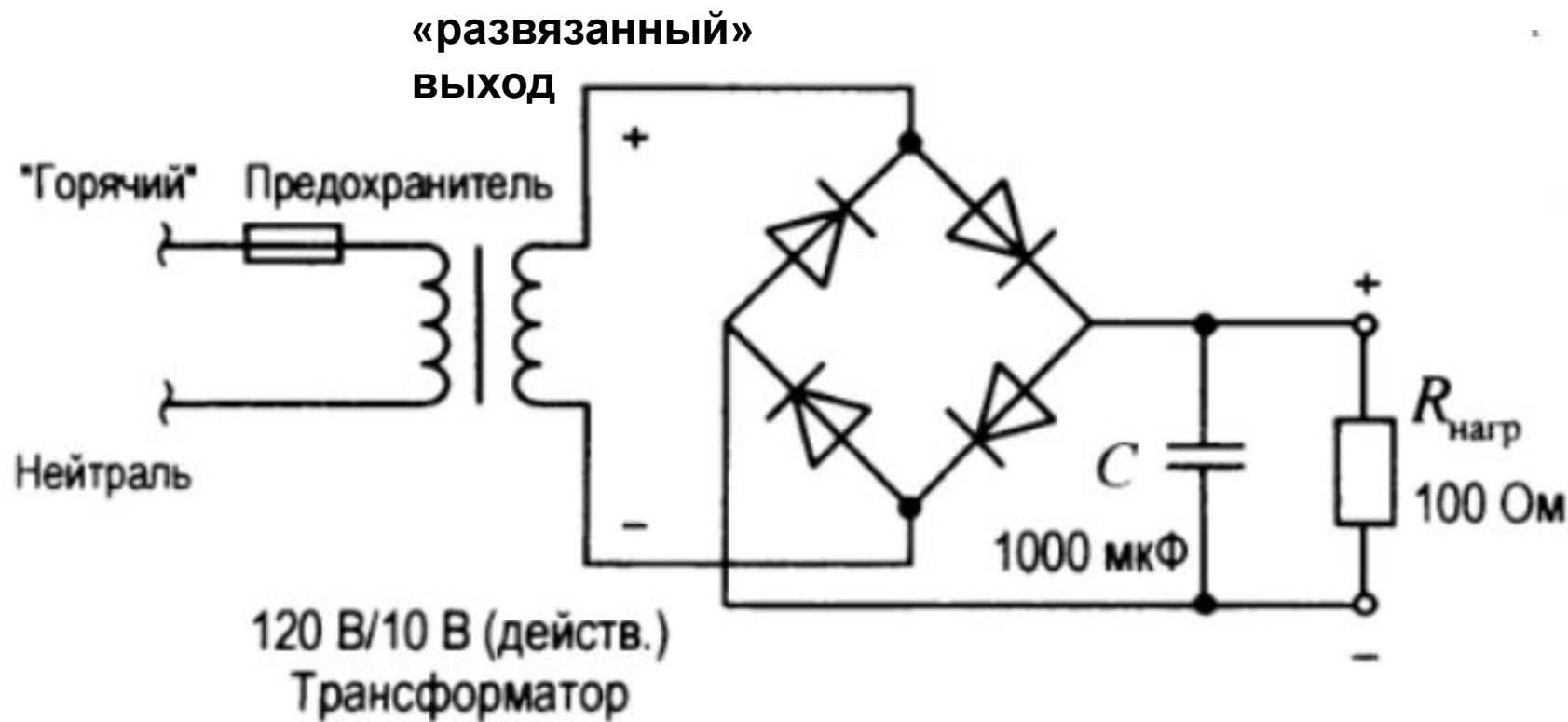


# ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

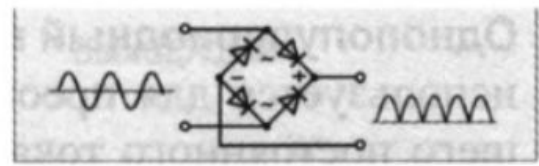
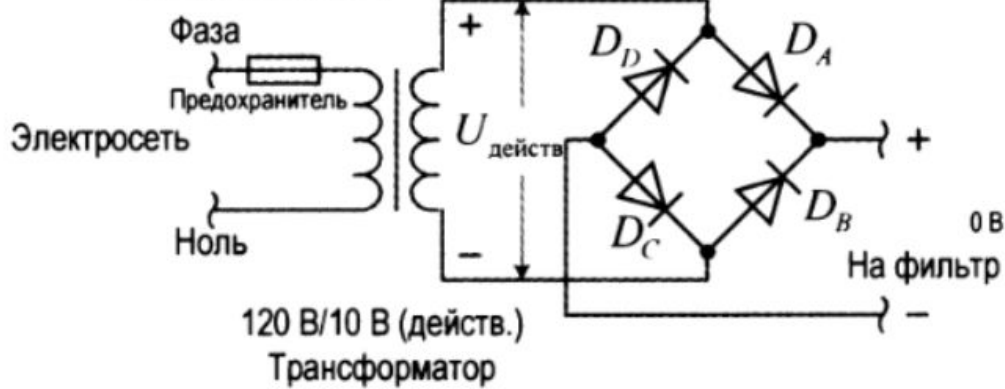


В домашней электропроводке нейтральный провод (белый) и провод земли (зеленый) соединены вместе на главном электрощите, так что они по сути имеют одинаковый потенциал — 0 В или потенциал земли. Если случайно прикоснуться к горячему проводу, одновременно находясь в контакте с каким-либо заземленным объектом, через тело потечет ток и потенциально нанесет смертельный удар. Когда же питание на оборудование подается через *развязывающий трансформатор*, его вторичная обмотка, подобно горячему и нейтральному проводу электросети, играет роль источника и возврата напряжения 220 В, но с одной большой разницей — ни источник, ни возврат вторичной обмотки не соединены с физической землей! Это означает, что при касании вывода источника или возврата вторичной обмотки, одновременно находясь в контакте с каким-либо заземленным объектом, ток по телу протекать *не будет*. Ток только стремится протекать между источником и возвратом вторичной обмотки. (Обратите внимание, что любой трансформатор с отдельными первичной и вторичной обмотками предоставляет гальваническую развязку, являясь, таким образом, развязывающими трансформаторами. Поэтому оборудование, оснащенное входными силовыми трансформаторами, уже обладают базовой встроенной защитой гальванической развязки.





Напряжение электросети

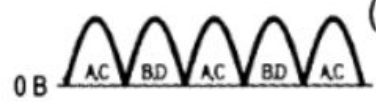


$$U_{\text{пик}} = 1,4 U_{\text{действ}}$$

$$U_{\text{сред}} = 0,9 U_{\text{действ}}$$

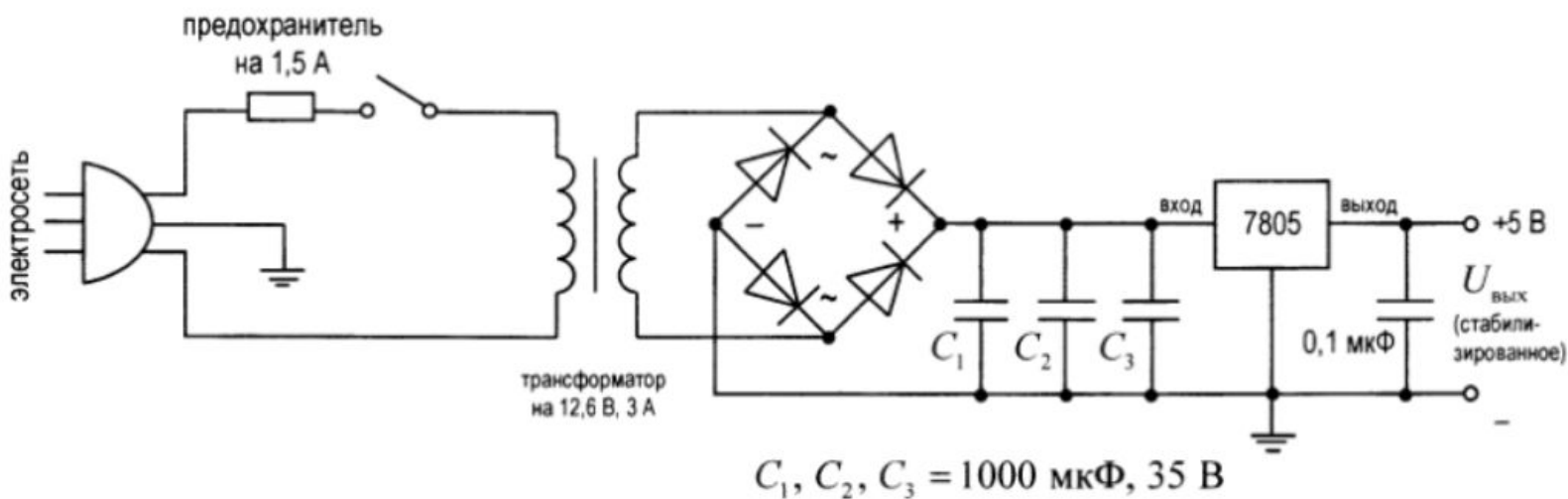
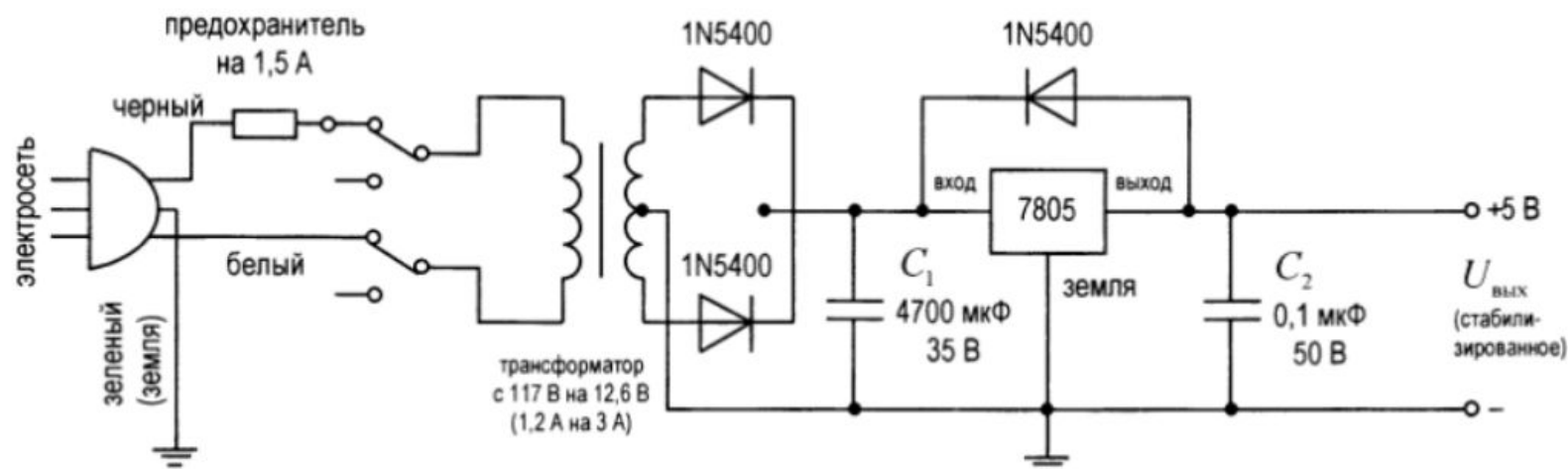
Пульсация = 48%/120 Гц

МОМ диода > 1,4 U<sub>действ</sub>  
(емкостная нагрузка > 1,4 U<sub>действ</sub>)



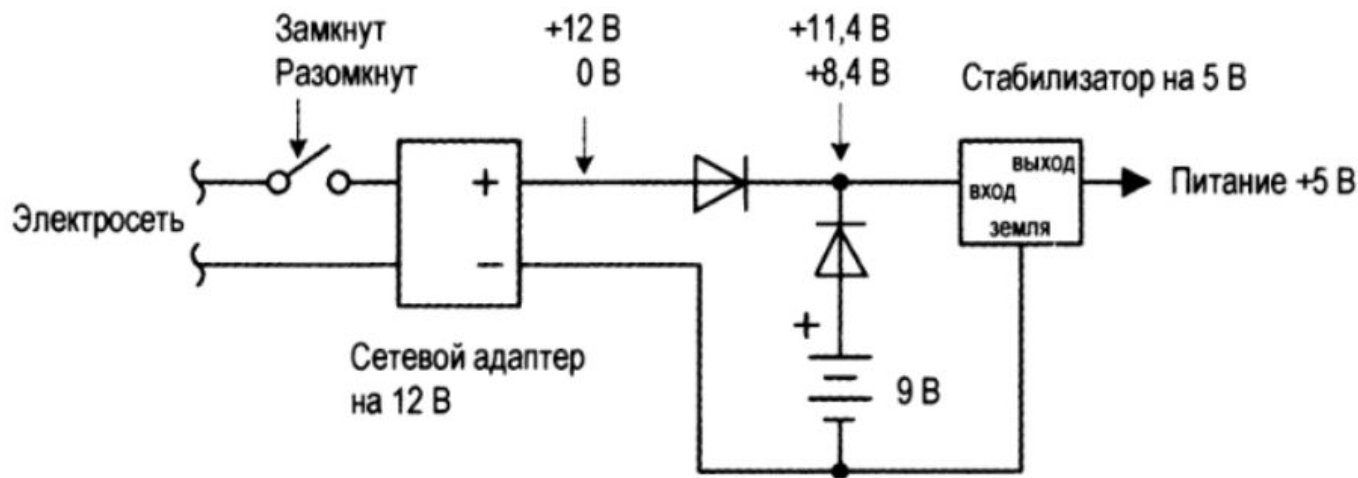
## Стабилизированные источники питания на +5 В

На рис. 11.9 приведена пара примеров простых источников питания.



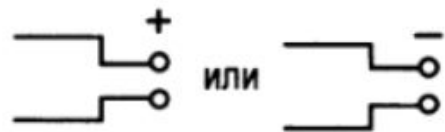
В первой схеме используется трансформатор с центральным отводом с напряжением вторичной обмотки 12,6 В и током от 1,2 до 3 А. Максимальное напряжение выпрямленных импульсов составляет 8,9 В. Конденсатор фильтра  $C_1$  сглаживает импульсы, а микросхема стабилизатора 7805 выдает стабилизированное напряжение величиной +5 В. Конденсатор  $C_2$  на выходе стабилизатора отводит на землю высокочастотные помехи, которые могут создаваться нагрузкой. Диод между выходом и входом стабилизатора защищает стабилизатор от повреждения выбросами обратного тока, которые могут создаваться нагрузкой. Такие всплески могут возникать при выключении источника питания вследствие, например, более медленной разрядки емкости на выходе, чем емкости на входе. Это вызывает обратное смещение стабилизатора, что может вывести его из строя. Диод не допускает этого, отводя ток от стабилизатора.

Второй источник питания похож на первый, но в нем используется выпрямительный мост.



При наличии питания в электросети и замкнутом переключателе питание на нагрузку поставляется через диод  $D_1$  от сетевого адаптера; диод  $D_2$  находится в режиме обратного смещения (непроводимости), поскольку потенциал его отрицательного вывода (катода) на 2,4 В более положительный<sup>4</sup>, чем потенциал положительного вывода (анода). В случае прерывания питания электросети (или размыкания переключателя), на катоде диода  $D_1$  больше нет положительного потенциала, что переводит диод  $D_2$  в режим проводимости, и в результате через него на нагрузку начинает протекать ток из батареи. Путь току в сетевой адаптер блокируется диодом  $D_1$ . Но этой схеме присущ один недостаток — подключенный последовательно батарее диод ограничивает минимальное напряжение батареи, при котором она может подавать ток на нагрузку (около 0,6 В для кремниевых диодов

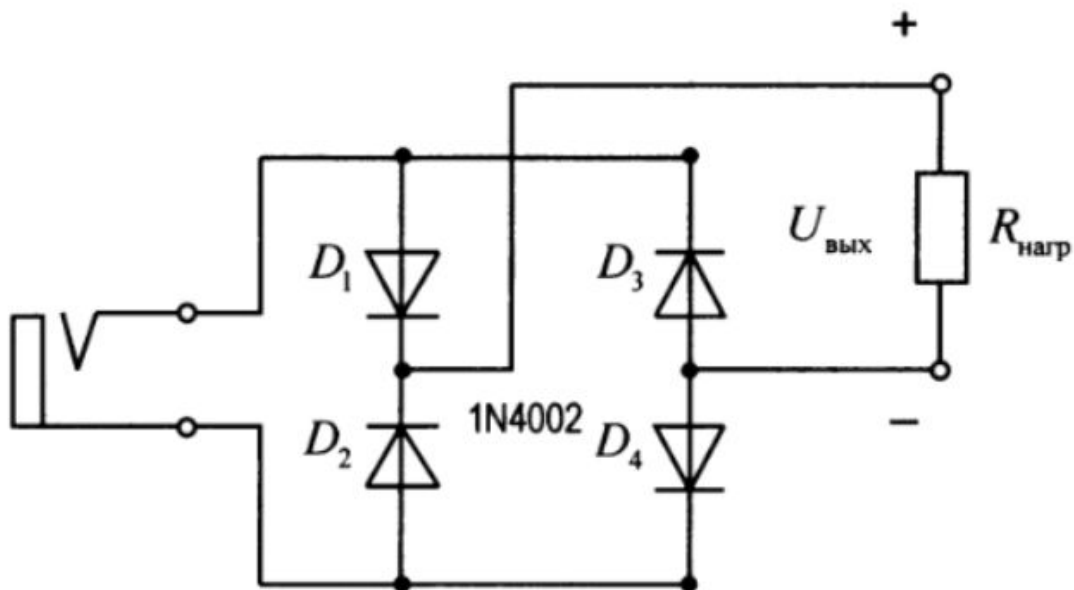
Разъем питания на 12 В



Положительный  
центральный  
контакт

или

Отрицательный  
центральный  
контакт



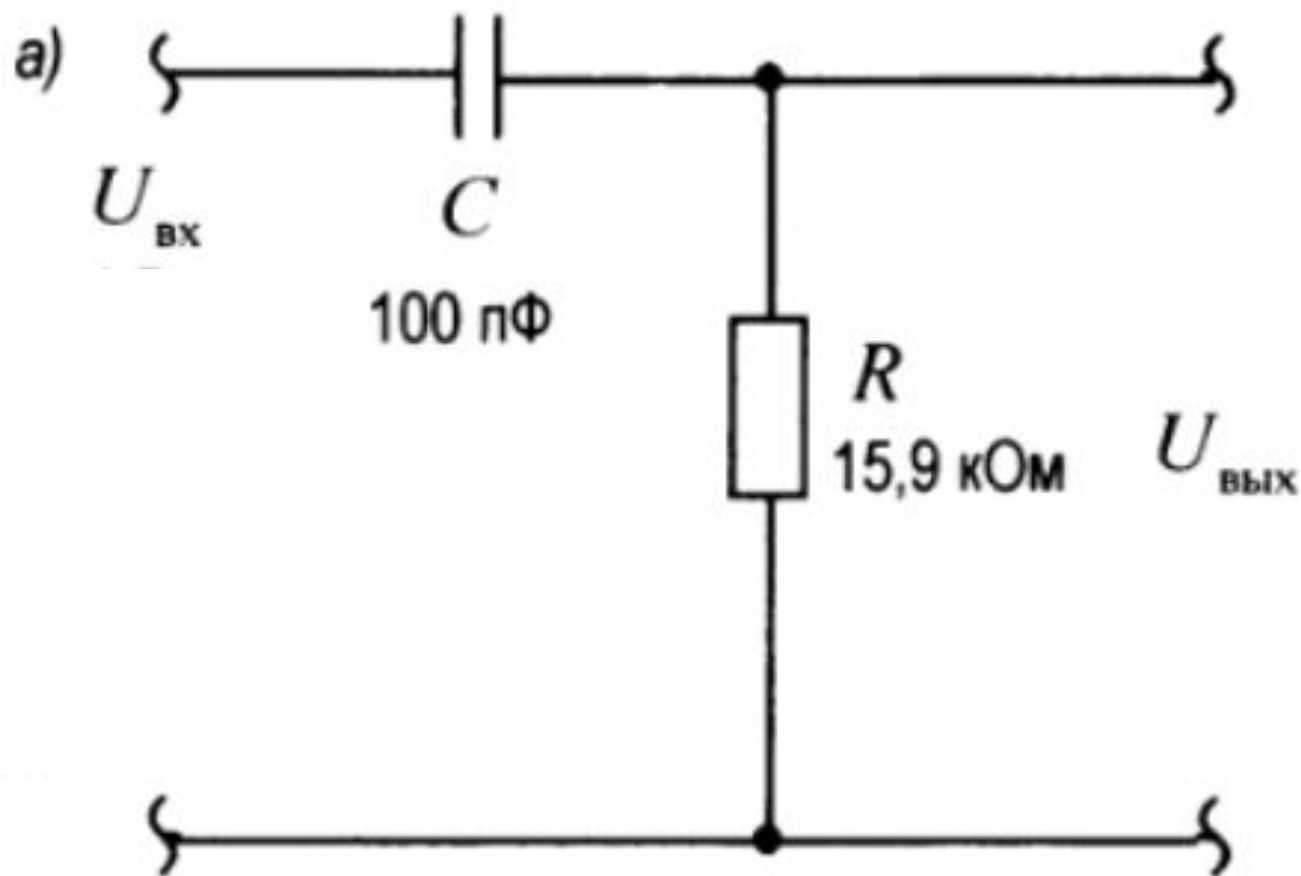
Что это за схема?

*Решение.* На рис. 1.10 показана схема защиты от подключения питания неправильной полярности, напряжение на выходе которой всегда будет одинаковой полярности, независимо от полярности напряжения на входе. Выходное напряжение будет 11,4 В. Падение напряжений на диодах для разъема с положительным центральным разъемом будет:

$$U_1 = 0,6 \text{ В}, \quad U_2 = 11,4 \text{ В}, \quad U_3 = 11,4 \text{ В}, \quad U_4 = 0,6 \text{ В},$$

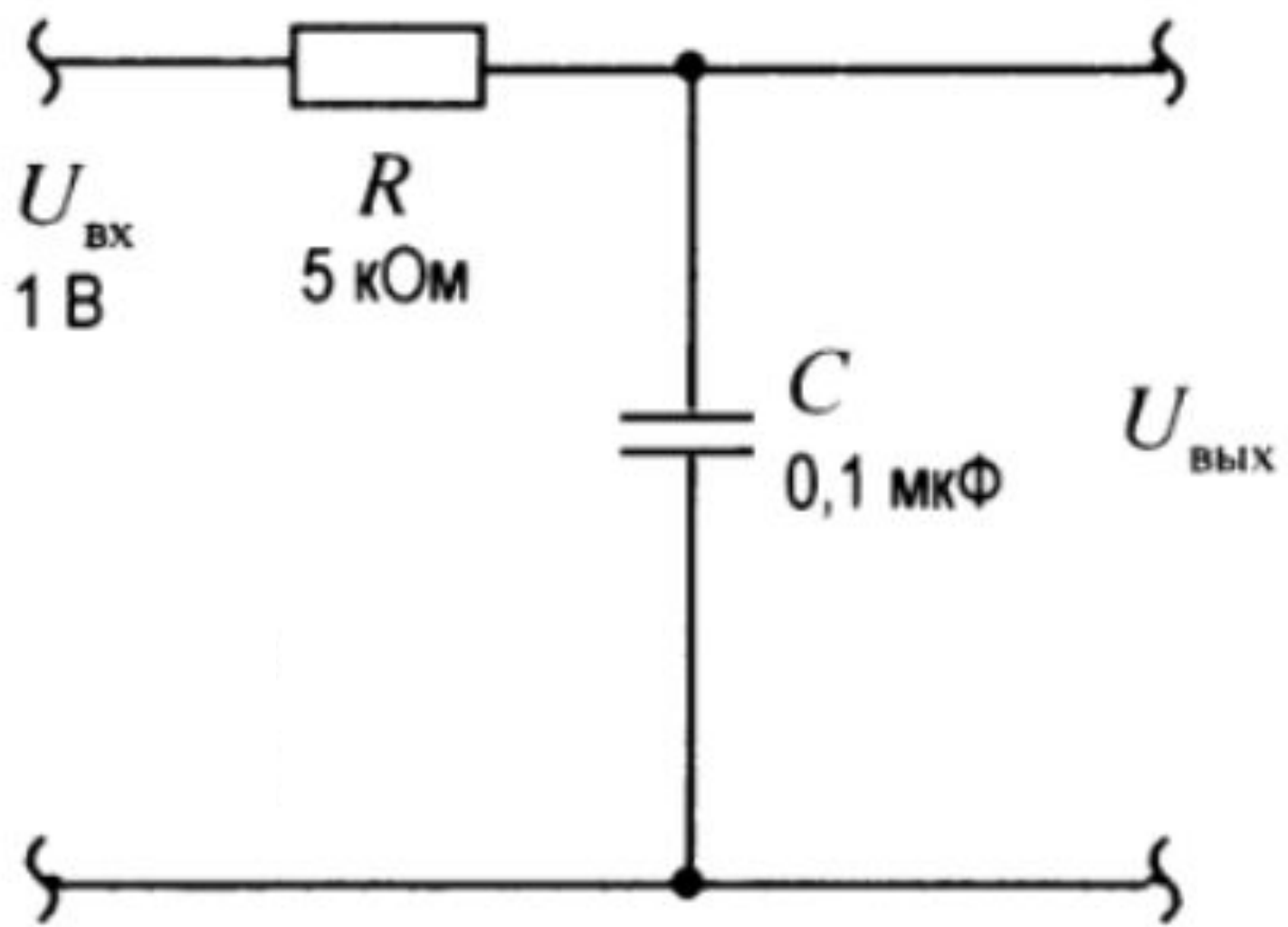
а для разъема с отрицательным центральным разъемом:

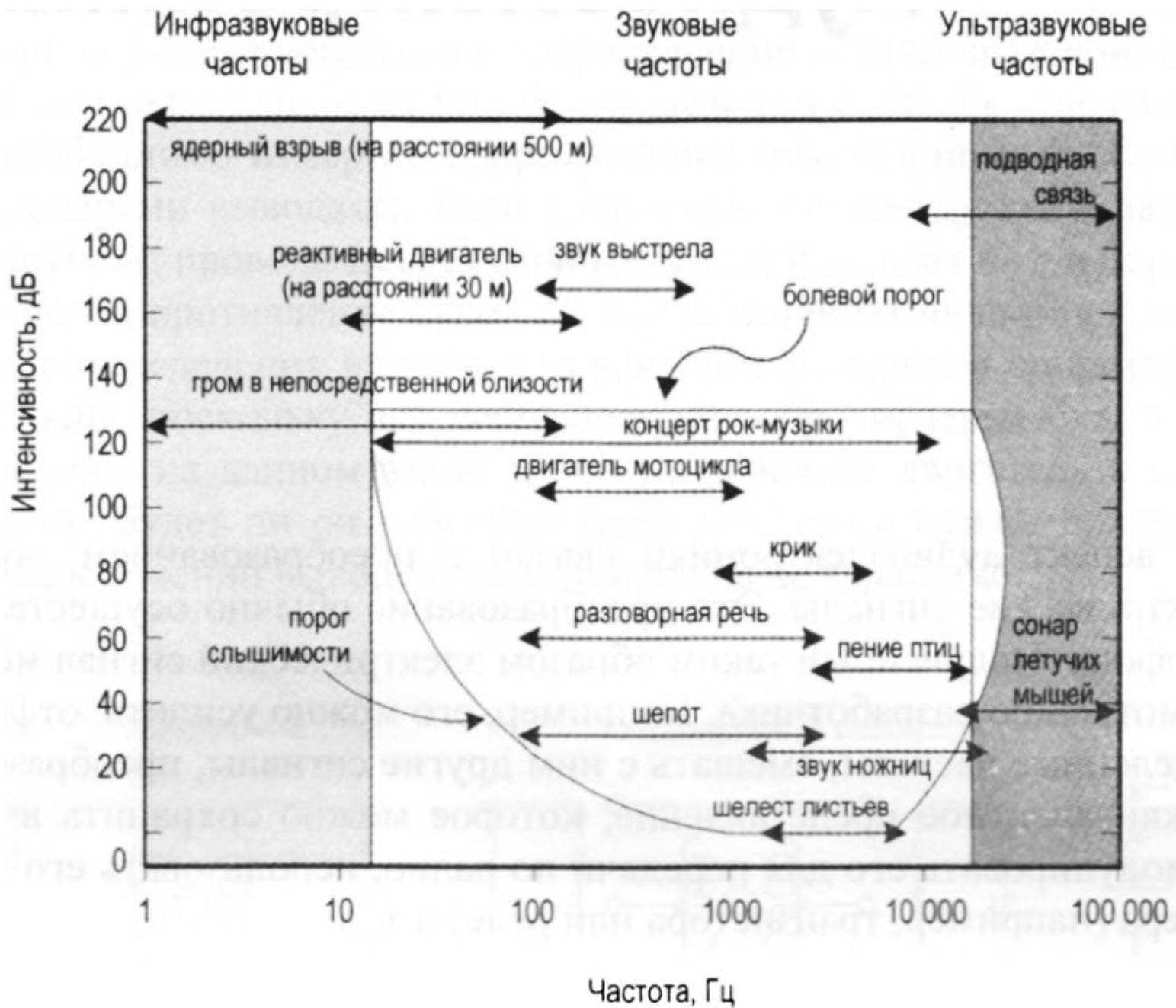
$$U_1 = 11,4 \text{ В}, \quad U_2 = 0,6 \text{ В}, \quad U_3 = 0,6 \text{ В}, \quad U_4 = 11,4 \text{ В}.$$

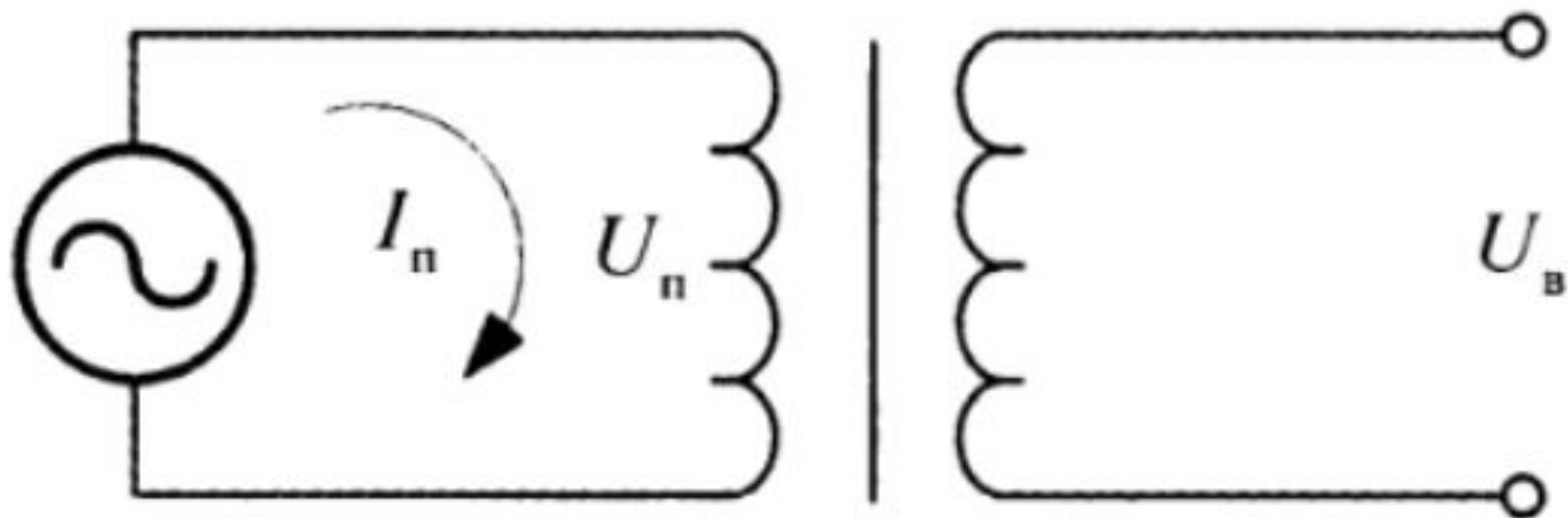




б)







$$U_n > U_B$$

### **ПРИМЕР 1**

Первичная обмотка трансформатора имеет 200 витков, а вторичная — 1200. Каким будет напряжение на вторичной обмотке при подаче на первичную обмотку напряжения 120 В?

*Решение.* Переупорядочив уравнение (3.1), получим следующее:

$$U_{\text{в}} = U_{\text{п}} \left( \frac{N_{\text{в}}}{N_{\text{п}}} \right) = \sim 120 \text{ В} \left( \frac{1200 \text{ витков}}{200 \text{ витков}} \right) = \sim 720 \text{ В}.$$

В данном случае мы имеем дело с повышающим трансформатором, поскольку напряжение на вторичной обмотке выше, чем на первичной.

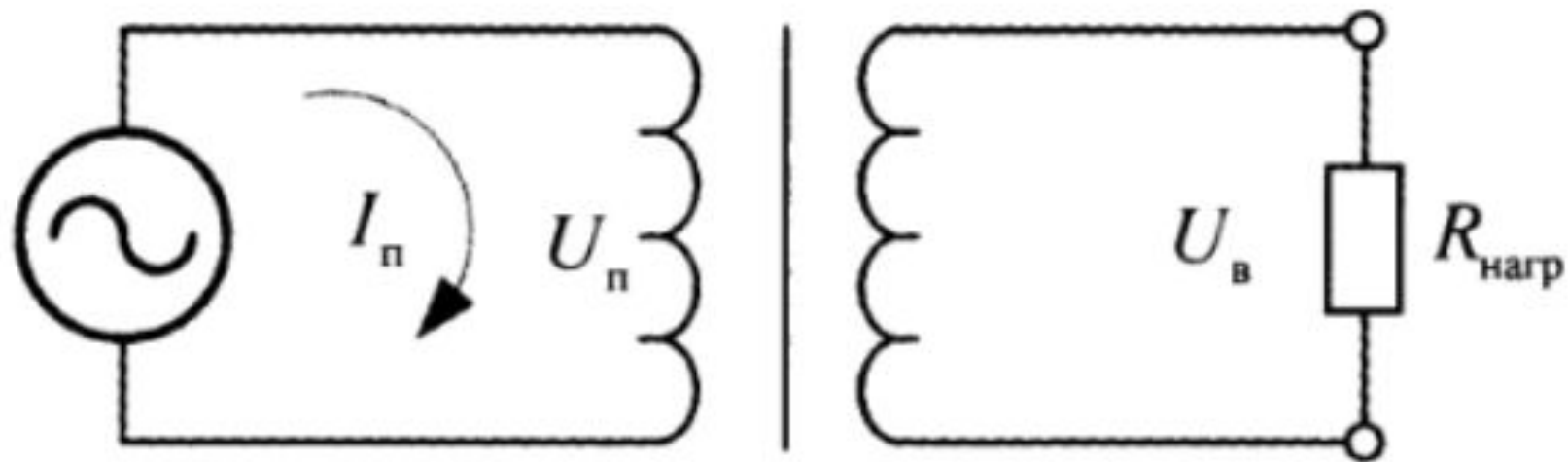
### **ПРИМЕР 2**

Тот же самый трансформатор, что и в предыдущем примере, но обмотки поменялись местами — вторичная стала первичной, а первичная вторичной. Каким будет напряжение на вторичной обмотке?

*Решение:*

$$U_{\text{в}} = U_{\text{п}} \left( \frac{N_{\text{в}}}{N_{\text{п}}} \right) = \sim 120 \text{ В} \left( \frac{200 \text{ витков}}{1200 \text{ витков}} \right) = \sim 20 \text{ В}.$$

В данном случае мы имеем дело с понижающим трансформатором, поскольку напряжение на вторичной обмотке ниже, чем на первичной.



$$U_{\text{п}} < U_{\text{в}}$$

$$I_{\text{п}} = I_{\text{в}} \left( \frac{N_{\text{в}}}{N_{\text{п}}} \right).$$

### **ПРИМЕР 3**

Первичная обмотка трансформатора имеет 180 витков, а вторичная — 1260. Вторичная обмотка подает на нагрузку ток величиной 0,1 А. Какова величина тока в первичной обмотке?

*Решение.* Переупорядочив уравнение (1) и решив его относительно тока первичной обмотки, получим следующее:

$$I_{\text{п}} = I_{\text{в}} \left( \frac{N_{\text{в}}}{N_{\text{п}}} \right) = 0,10 \text{ А} \cdot \left( \frac{1260 \text{ ВИТКОВ}}{180 \text{ ВИТКОВ}} \right) = 0,7 \text{ А}.$$

$$P_{\text{в}} = \eta \cdot P_{\text{п}},$$

(КПД трансформатора)

где  $P_{\text{в}}$  — мощность на выходе вторичной обмотки;  $P_{\text{п}}$  — мощность на входе первичной обмотки;  $\eta$  — коэффициент полезного действия (КПД) трансформатора. Коэффициент полезного действия  $\eta$  всегда меньше 1. Обычно КПД выражается в процентах, например, 0,75 означает КПД, равный 75%.

#### **ПРИМЕР 4**

Какая мощность поступает на первичную обмотку трансформатора с КПД = 75% при полной нагрузке на вторичной обмотке равной 100 Вт?

*Решение.* Переупорядочив уравнение (3.3), получим следующее:

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{в}}}{\eta} = \frac{100 \text{ Вт}}{0,75} = 133 \text{ Вт.}$$

$$Z_n = Z_b \left( \frac{N_n}{N_b} \right)^2,$$

(отношение импедансов обмоток трансформатора)

где  $Z_n$  — импеданс на входе первичной обмотки;  $Z_b$  — импеданс нагрузки, подключенной ко вторичной обмотке.

На рис. 1.2.1 показана эквивалентная схема импедансов трансформатора.





Первичная обмотка трансформатора имеет 500 витков, а вторичная — 1000. Если импеданс нагрузки на вторичной обмотке составляет 2000 Ом, каким будет импеданс первичной обмотки?

*Решение.* Применив уравнение (3.4), получаем:

$$Z_n = 2000 \text{ Ом} \cdot \left( \frac{500 \text{ ВИТКОВ}}{1000 \text{ ВИТКОВ}} \right)^2 = 2000 \cdot (0,5)^2 = 500 \text{ Ом}.$$

Для оптимальной работы усилителя его нагрузка должна быть 500 Ом, но к нему будет подключен динамик с импедансом 8 Ом. Каким должно быть отношение количества витков обмоток согласовывающего трансформатора?

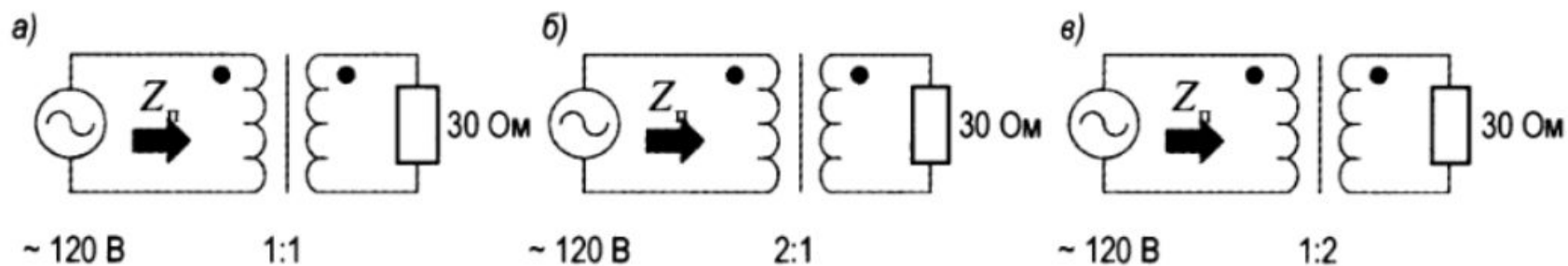
*Решение:*

$$\frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{в}}} = \sqrt{\frac{Z_{\text{п}}}{Z_{\text{в}}}} = \sqrt{\frac{500 \text{ Ом}}{8 \text{ Ом}}} = 8.$$

Таким образом, количество витков первичной обмотки должно быть в 8 раз больше, чем вторичной.

Конкретное число витков первичной обмотки должно быть таким, чтобы обеспечить низкие внутренние потери и ток утечки, а также чтобы ее индуктивность была достаточной для работы с низким током намагничивания при подаваемом на нее напряжении.

Какие импедансы нагрузки "видят" источники напряжения на рис. 3.104?



Какие импедансы нагрузки "видят" источники напряжения на рис. 1.15?

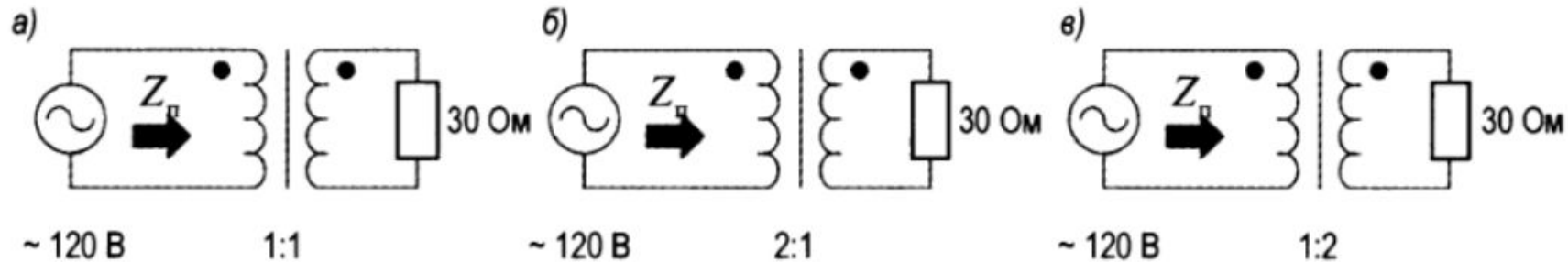


РИС. 1.15. Импедансы, которые "видят" источники напряжения

Ответ: а) 30 Ом; б) 120 Ом; в) 8 Ом.

Отношение витков повышающего трансформатора 1:3. Каковы его коэффициенты трансформации по напряжению и по току и отношение импедансов? Отношения указать в форме "первичная:вторичная".

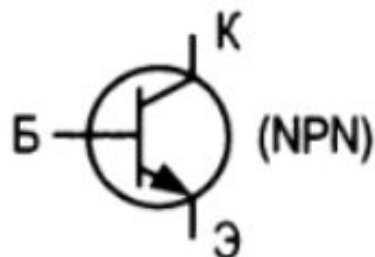
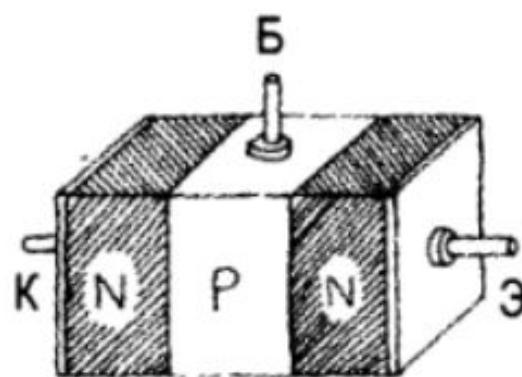


**Ответ:** коэффициент трансформации по напряжению — 1:3, коэффициент трансформации по току — 3:1, а отношение импедансов — 1:9.

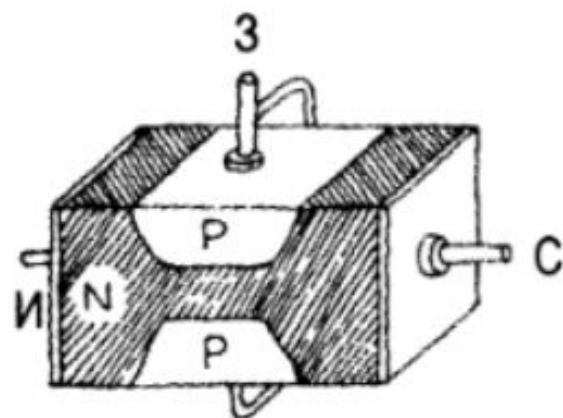
Диод

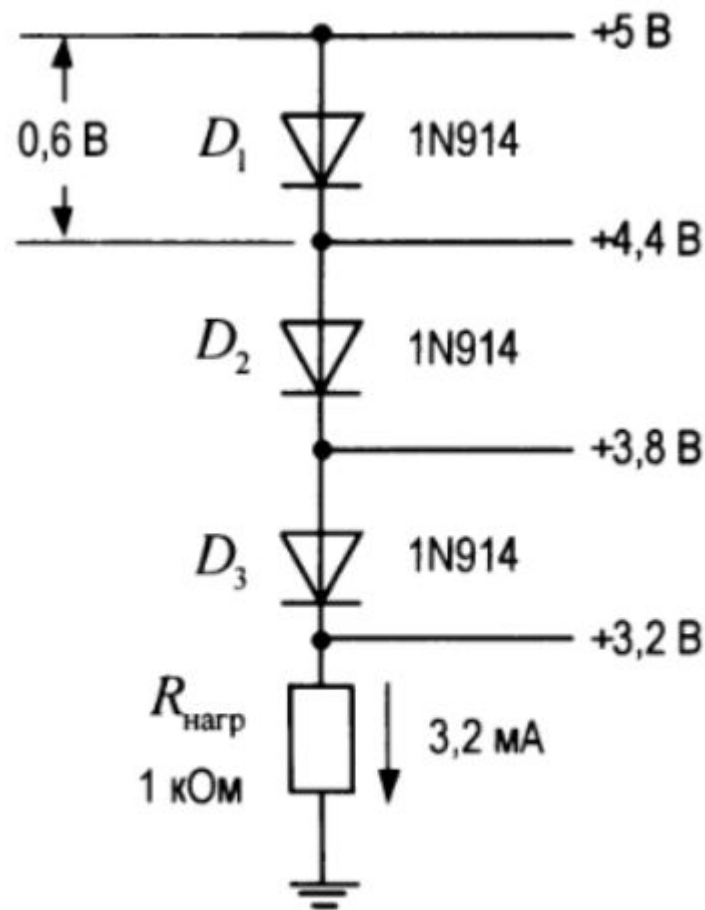


Биполярный транзистор

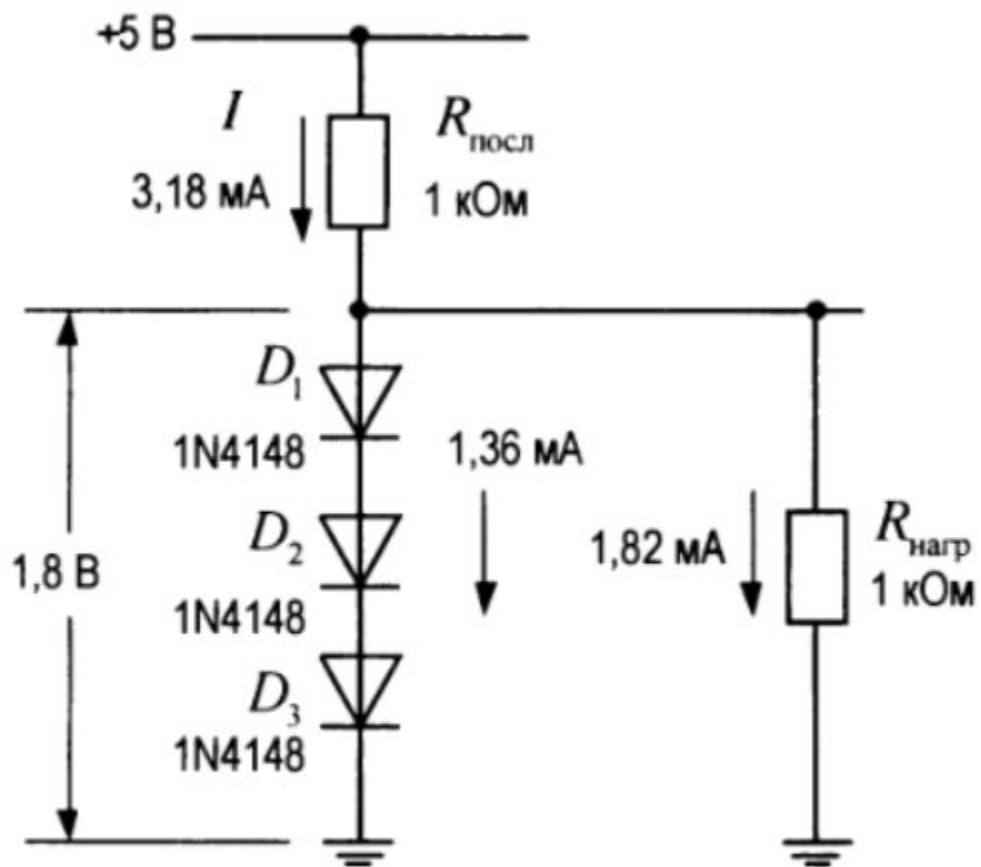


Полевой транзистор





Использование диодов для понижения напряжения



**РИС.** Использование выпрямительного диода для стабилизации напряжения



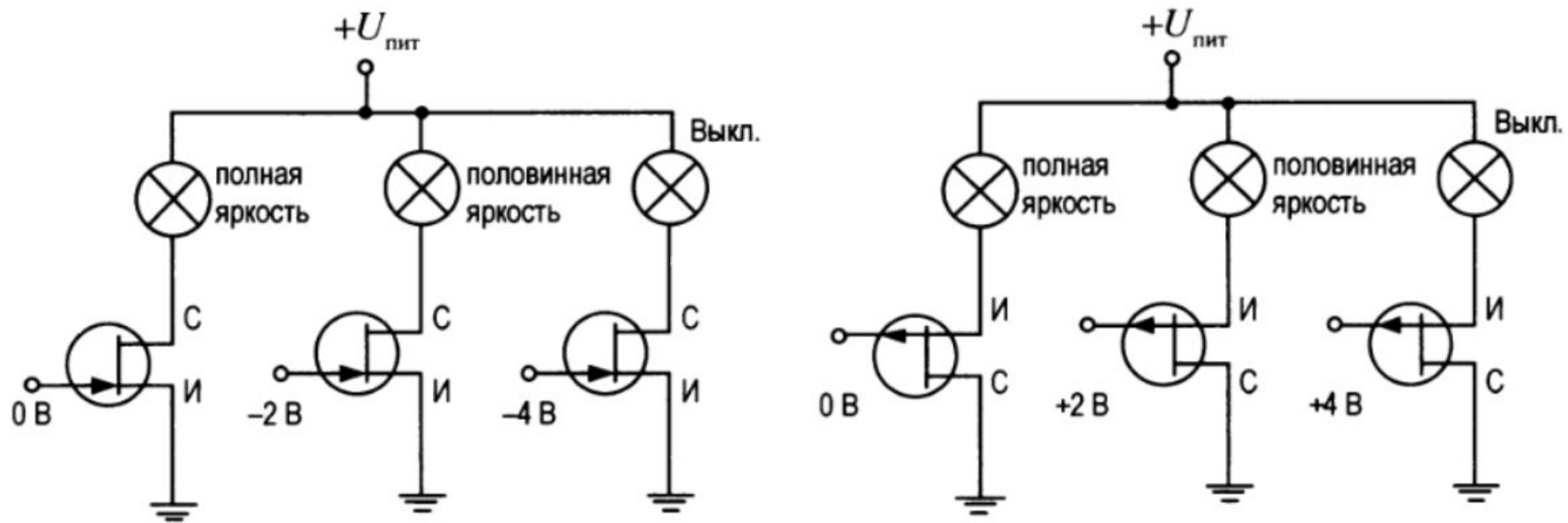
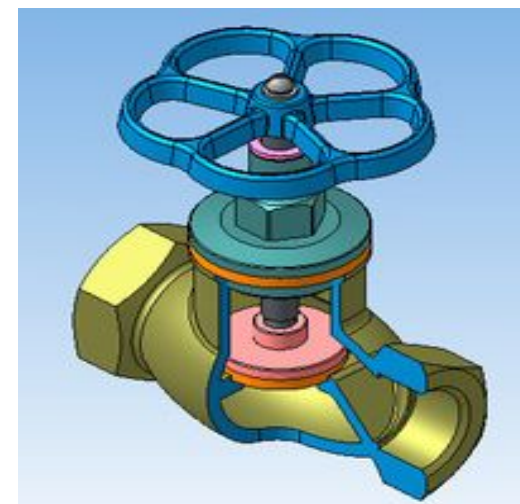
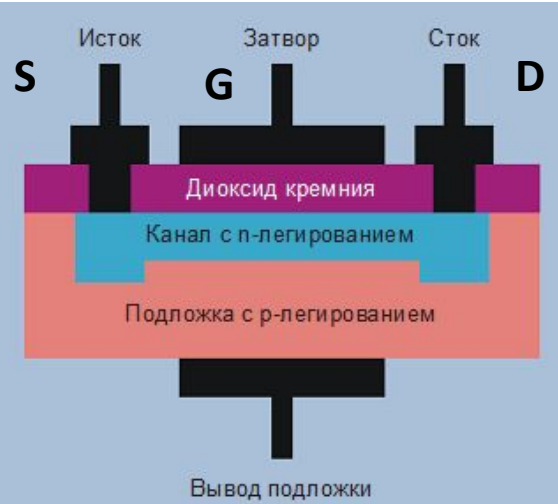


РИС. ... Регулятор яркости света



**Обозначения по ИИЭР<sup>2</sup>**

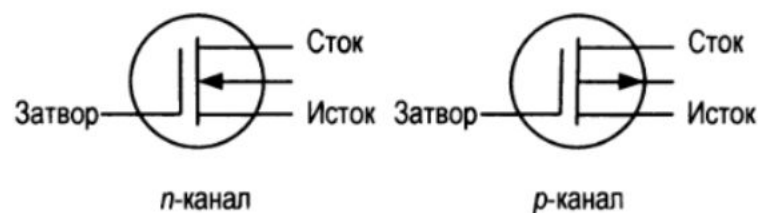
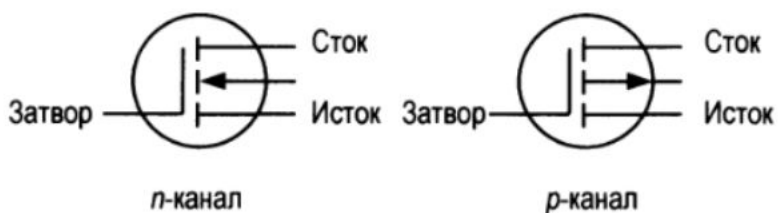
**Упрощенное обозначение**

	Обозначения по ИИЭР <sup>2</sup>		Упрощенное обозначение	
	обогащенный	обедненный	обогащенный	обедненный
<b>Канал P</b>	<p>ИСТОК</p>			
<b>Канал N</b>				

Существует два основных типа МОП-транзисторов — с обогащенным каналом и с обедненным каналом

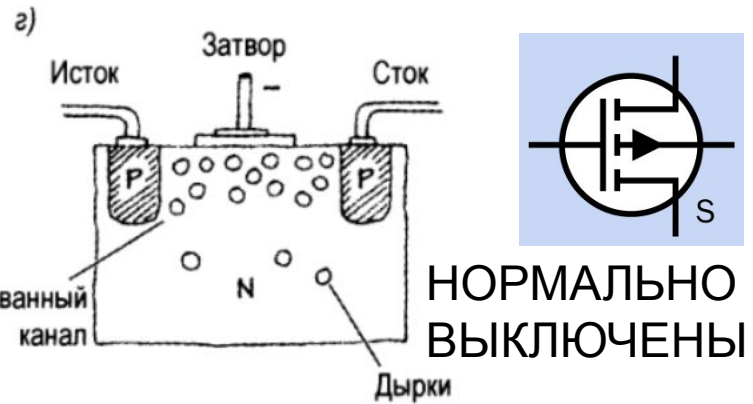
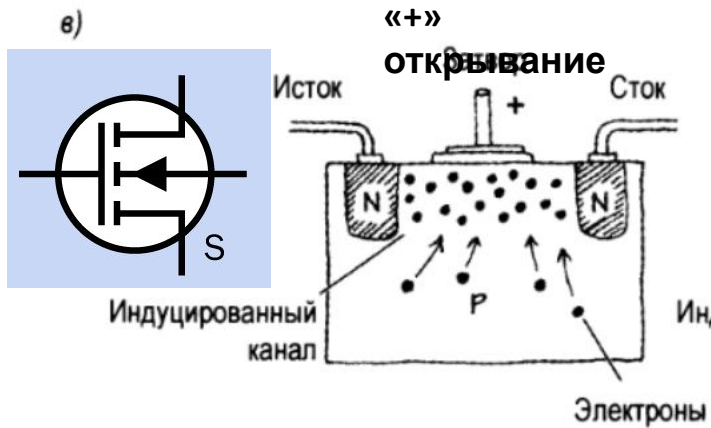
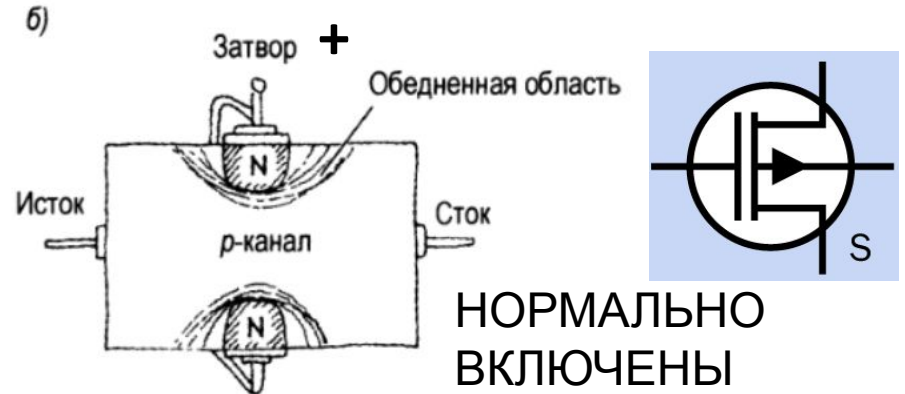
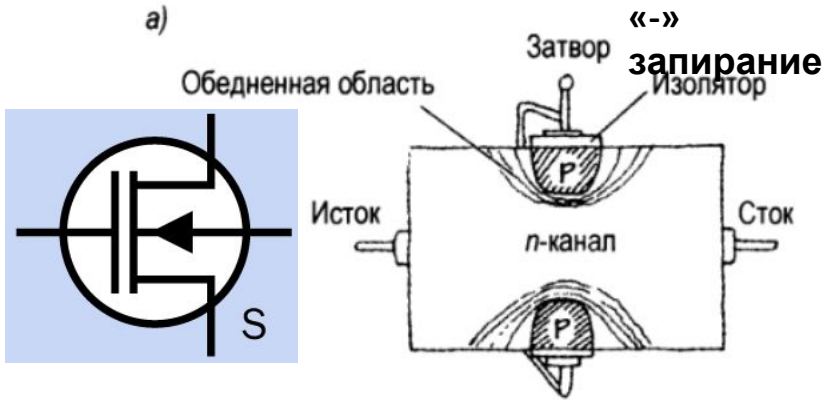
МОП-транзистор с обогащенным каналом

МОП-транзистор с обедненным каналом



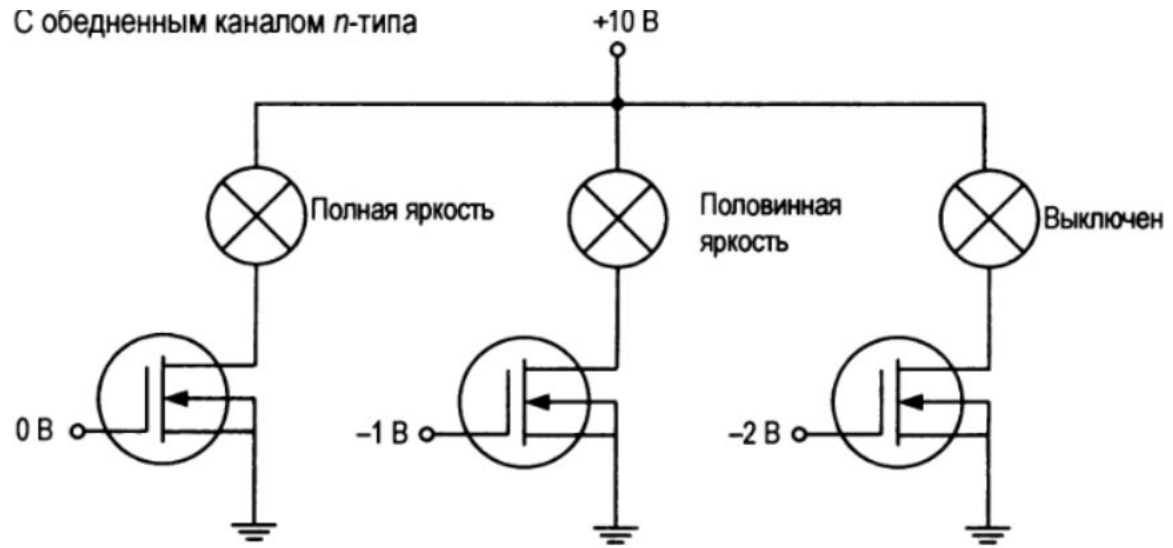
Два типа полевых МОП-транзисторов

МОП-транзисторы с обедненным каналом нормально включены (по каналу сток-исток протекает максимальный ток), когда между затвором и истоком отсутствует разность потенциалов ( $U_{зи} = U_з - U_и = 0$  В). Но подача на затвор напряжения создает в канале сток-исток сопротивление протеканию тока; это поведение подобно поведению полевых транзисторов с управляющим переходом. А МОП-транзисторы с обогащенным каналом нормально выключены (по каналу сток-исток протекает минимальный ток), когда напряжение  $U_{зи} = 0$  В. Но подача на затвор напряжения уменьшает сопротивление протеканию тока в канале сток-исток.

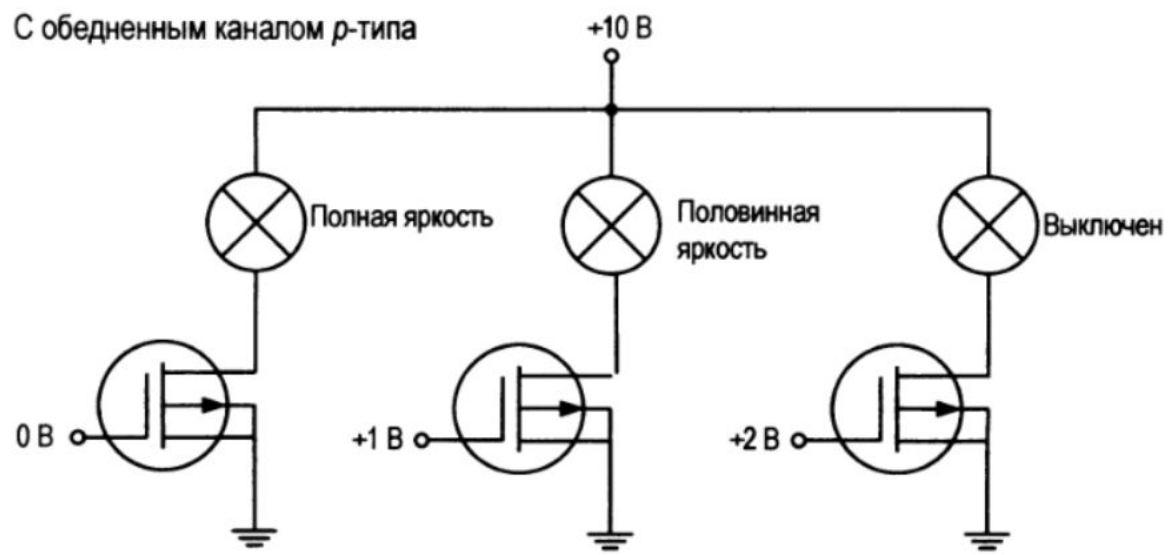


Принцип работы МОП-транзисторов разных видов: а — МОП-транзистор с обедненным каналом *n*-типа; б — МОП-транзистор с обедненным каналом *p*-типа; в — МОП-транзистор с обогащенным каналом *n*-типа; г — МОП-транзистор с обогащенным каналом *p*-типа

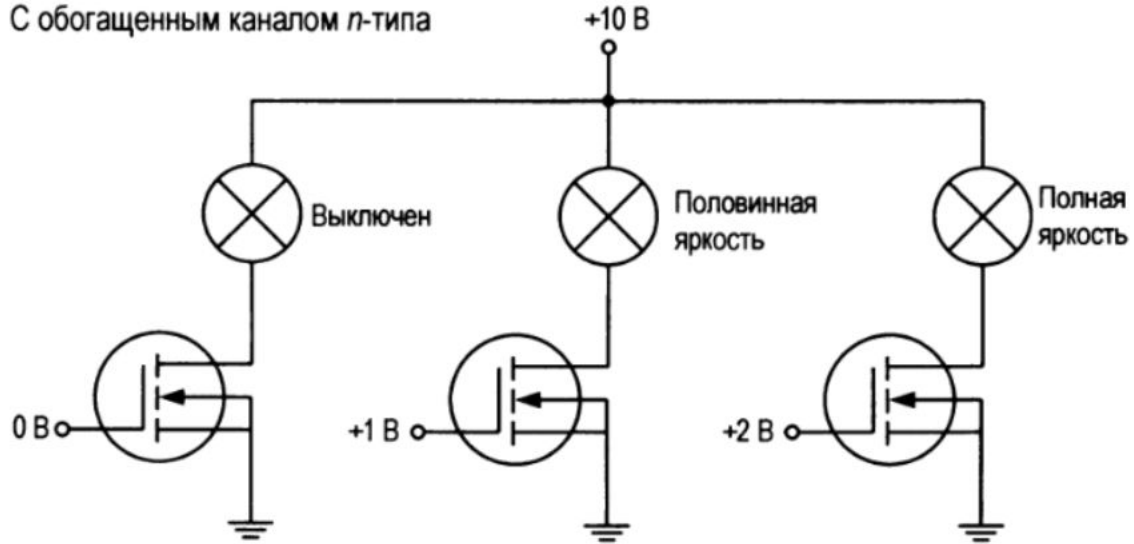
С обедненным каналом *n*-типа



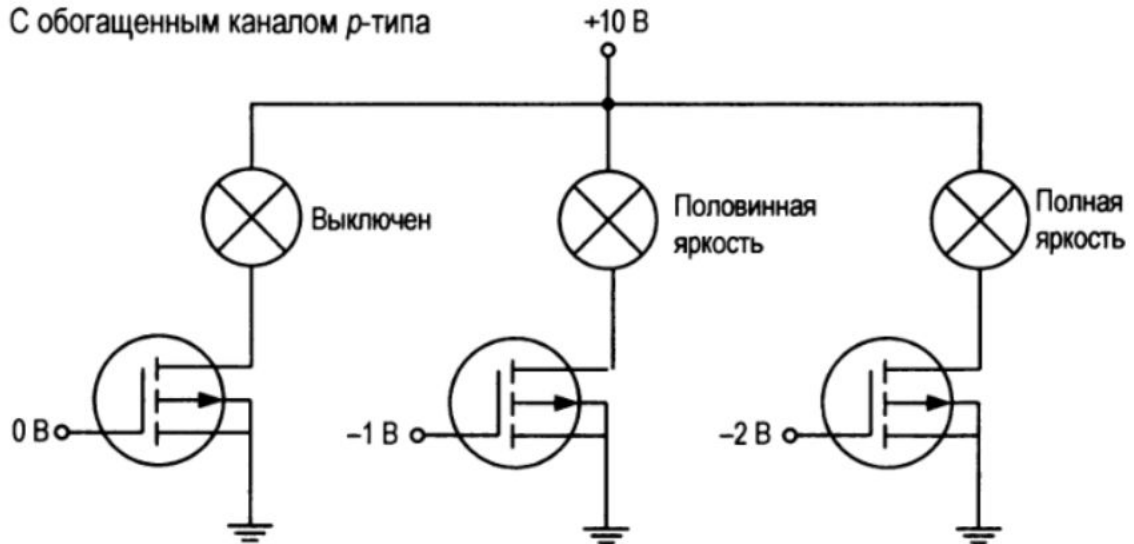
С обедненным каналом *p*-типа



С обогащенным каналом *n*-типа

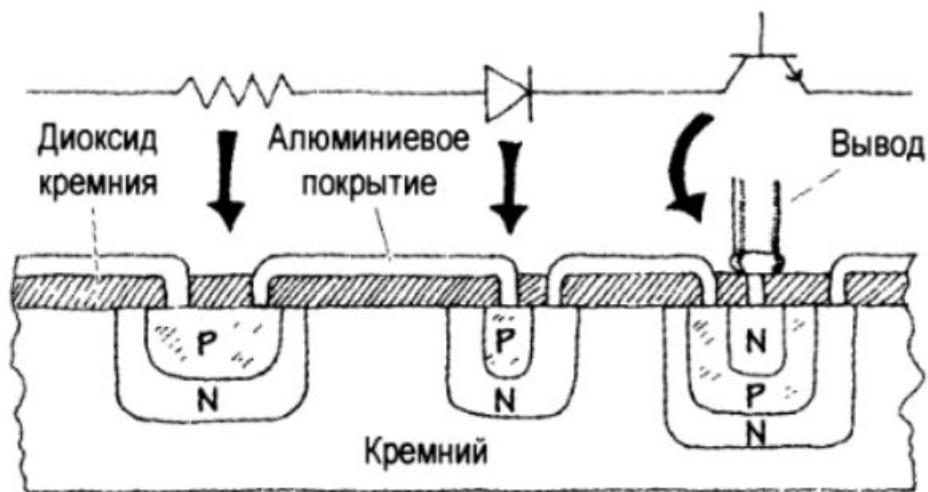


С обогащенным каналом *p*-типа



## **МОП-транзисторы легко повреждаются**

МОП-транзисторы чрезвычайно легко повредить. В частности, их хрупкие изоляторы между затвором и каналом очень чувствительны к разрядам статического электричества, и их можно пробить, коснувшись затвора МОП-транзистора после того, как вы прошли по ковру. Заряд, полученный вами вследствие трения подошв обуви о ковер, может достигать порядка нескольких тысяч вольт. Хотя ток, протекающий в процессе разряда, и не очень большой, это роли не играет, поскольку оксидный изолятор настолько тонкий (емкость затвор-канал очень маленькая, обычно несколько пикофарад), что даже совсем небольшой ток будет губительным для МОП-транзистора. Поэтому при работе с МОП-транзисторами важно устранить все источники статического электричества на рабочем месте.



Кристалл подсоединяется к металлической рамке с выводами

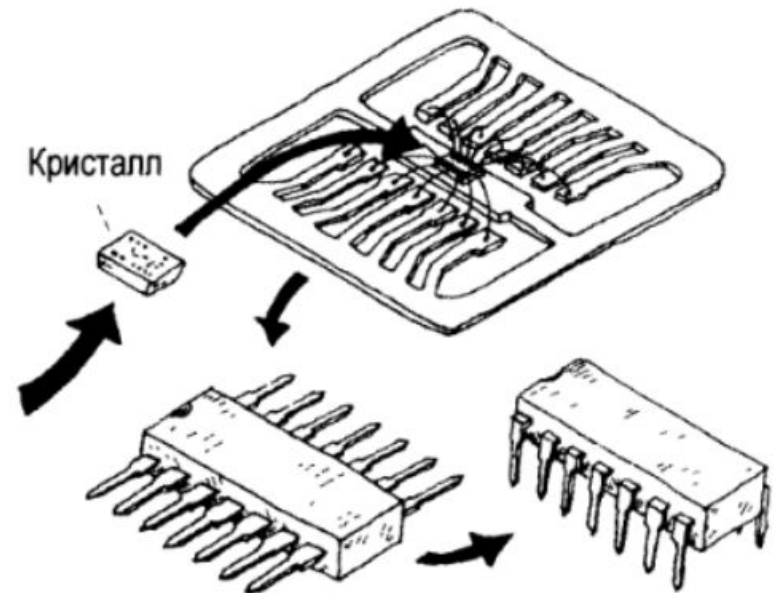


РИС. Структура интегральной схемы



Существуют аналоговые, цифровые и аналого-цифровые интегральные схемы.

- ◆ *Аналоговые* (или линейные) ИС создают, усиливают или реагируют на изменяющиеся напряжения. В качестве примера распространенных аналоговых ИС можно назвать стабилизаторы напряжения, операционные усилители, компараторы, таймеры и генераторы колебаний.
- ◆ *Цифровые* (или логические) ИС создают или обрабатывают сигналы, имеющие только два уровня — высокий и низкий. В качестве примера распространенных цифровых ИС можно назвать логические элементы (такие как И, ИЛИ и НЕ-ИЛИ), микроконтроллеры, память, двоичные счетчики, сдвиговые регистры, мультиплексоры, шифраторы и дешифраторы.
- ◆ *Аналого-цифровые* ИС обладают свойствами, присущими как аналоговым, так и цифровым ИС. Существуют различные разновидности аналого-цифровых ИС. Например, основным назначением ИС может быть аналоговый таймер, но она может содержать цифровой счетчик. Или же ИС может считывать цифровую информацию, а затем создавать аналоговый вывод на основе этой информации для управления, например, шаговым двигателем или светодиодным дисплеем.