

Семинар 6 неделя повторение

**ТОК, МОЩНОСТЬ,
ДЕЛИТЕЛЬ ТОКА,
ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ**

Электрический ток — это общий заряд, проходящий через определенную площадь поперечного сечения S за единицу времени. Данная площадь поперечного сечения может представлять диск, помещенный в газовую, плазменную или жидкостную среду, но в электронике эта область чаще всего представляет сечение через монолитный материал, например, проводник.

Если через площадь S за интервал времени Δt проходит заряд величиной Δq , тогда *средний ток* I_{cp} определяется как (рис. 2.1):

$$I_{cp} = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

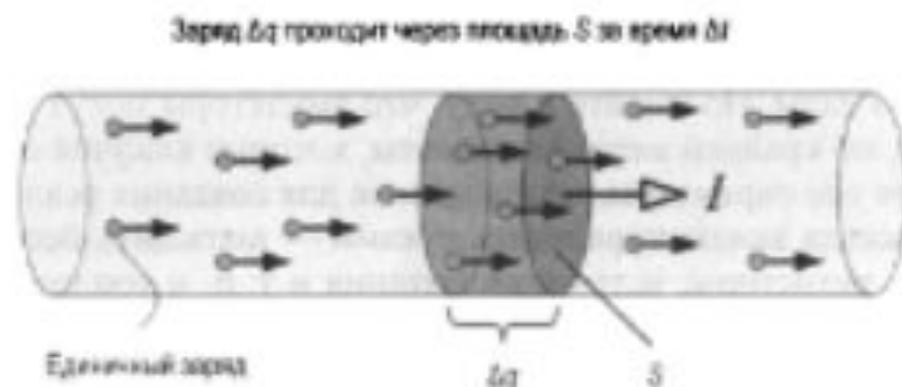


РИС. 2.1. Средний ток, проходящий через площадь поперечного сечения

Если величина тока меняется во времени, *мгновенный ток* I определяется через предел, когда $\Delta t \rightarrow 0$. Таким образом, ток является мгновенной скоростью прохождения заряда через площадь:

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}. \quad (2.1)$$

Единица измерения тока — кулоны в секунду, которая также называется *ампером* (А), в честь французского физика Андре Мари Ампера (Andre-Marie Ampere):

$$1 \text{ A} = 1 \text{ Кл/с.}$$

Поскольку ампер представляет довольно сильный ток, сила тока также часто указывается в *миллиамперах* ($1 \text{ mA} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$), *микроамперах* ($1 \text{ mA} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ A}$) и *наноамперах* ($1 \text{ nA} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ A}$).

В проводниках, например меди, электрический ток состоит из свободных электронов, перемещающихся в решетке атомов меди. На каждый атом меди приходится один свободный электрон. Заряд одного электрона определяется следующей формулой:

$$q_{\text{электрон}} = (-e) = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.} \quad (2.2a)$$

Это заряд такой же величины, как заряд одного атома железа, только обратной полярности. (Положительный заряд образуется в результате отдачи атомом железа одного электрона в "облако" электронов, хаотически перемещающихся в решетке. Потеря атомом одного электрона означает, что число его протонов на один больше, чем число электронов.) Заряд одного *протона* определяется следующей формулой:

$$q_{\text{протон}} = (+e) = +1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.} \quad (2.2b)$$

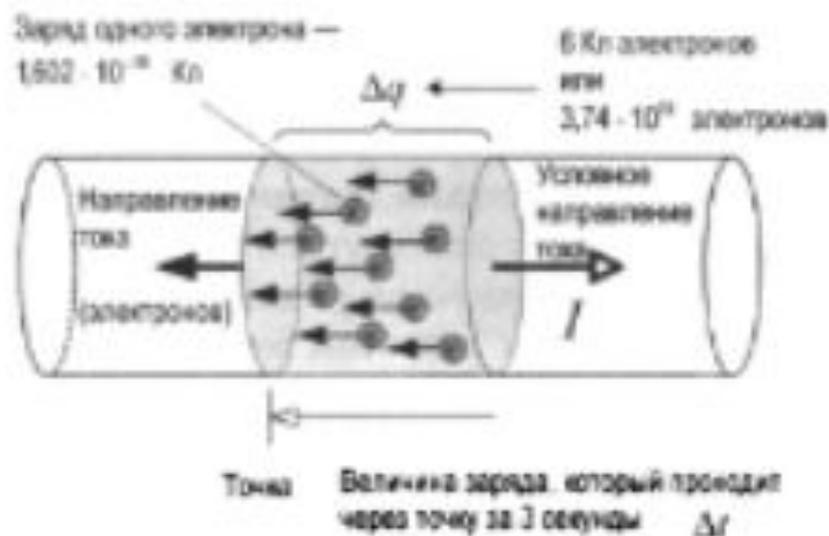
Проводник в общем имеет нейтральный заряд, поскольку число его электронов равно числу протонов. Из уравнения (2.2a) можно видеть, что если через медный провод протекает ток силой в 1 А, количество электронов, протекающих через поперечное сечение провода за 1 секунду, равно:

$$1 \text{ A} = \left(\frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}} \right) \left(\frac{\text{электрон}}{-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \right) = -6,24 \cdot 10^{18} \text{ электронов/с.}$$



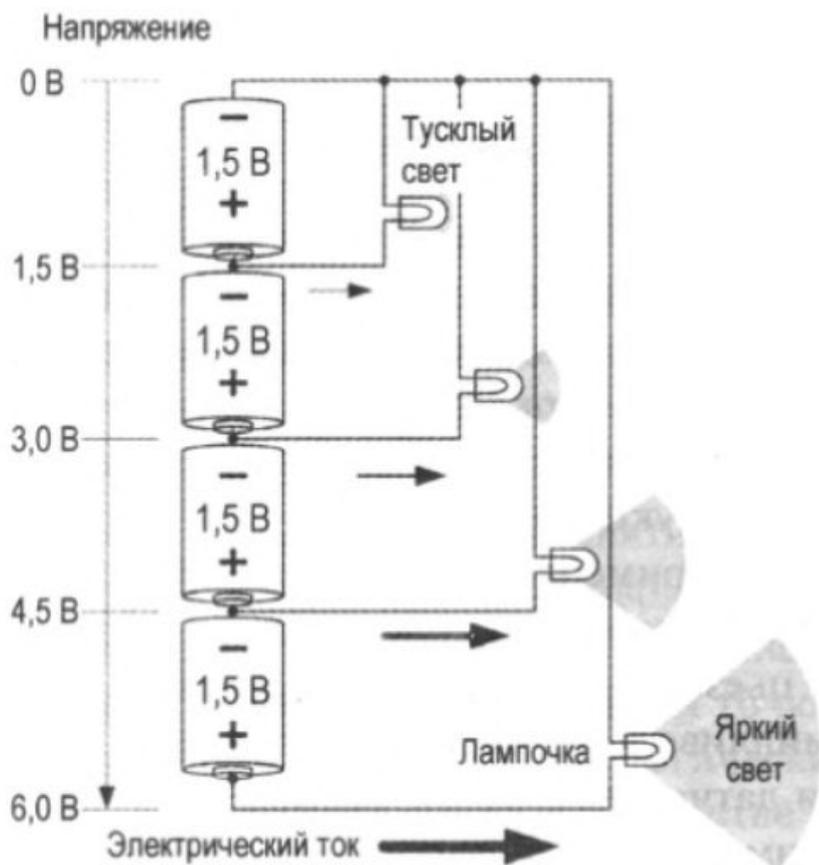
РИС. 2.2. Томсон изменил утверждение, впервые высказанное Бенджаминем Франклином, что в проводниках движутся положительные заряды. Но поскольку движение электронов в одном направлении эквивалентно движению положительных зарядов в противоположном направлении, старые формулы по-прежнему работают. Так как мы применяем старые формулы, с практической точки зрения будет полезным использовать условное направление тока, предложенное Франклином, но при этом не забывать, что в действительности движутся электроны и в противоположном направлении.

Определить, сколько электронов проходит за 3 с через данную точку в проводнике, по которому протекает ток в 2 А (рис. 2.3).



$$I_{\text{числ}} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{6 \text{ Кл}}{3 \text{ с}} = 2 \text{ А}$$

Электрическая система



Водная система



РИС. 2.12. Демонстрация на примере с водой создания более сильного тока более высоким напряжением

ПРИМЕР 1

Определить напряжение между указанными точками в схемах на рис. 2.13. Например, напряжение между точками A и B на рис. 2.13, a — 12 В.

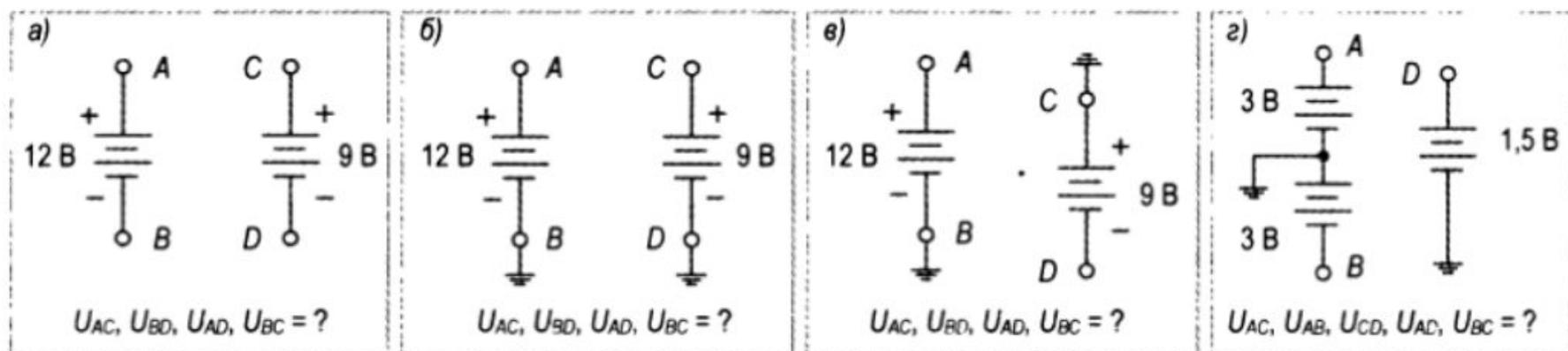
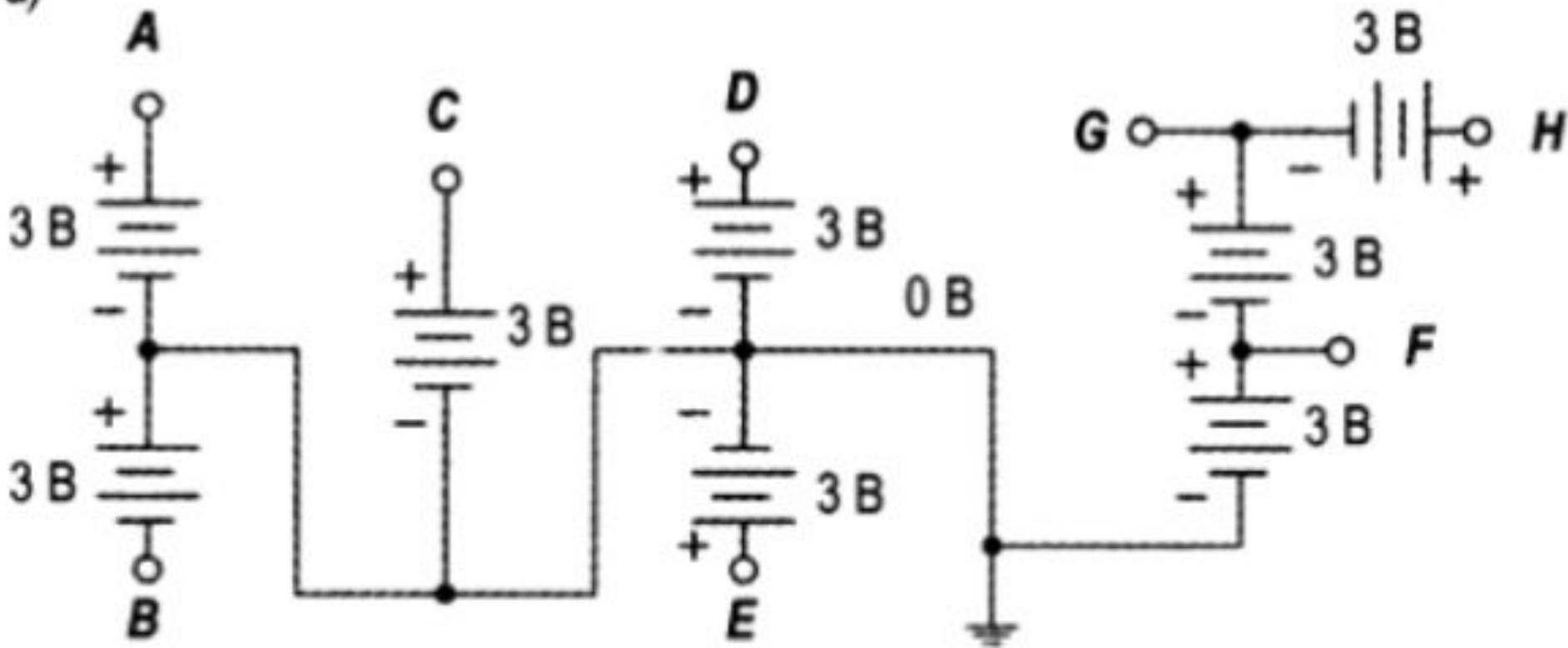


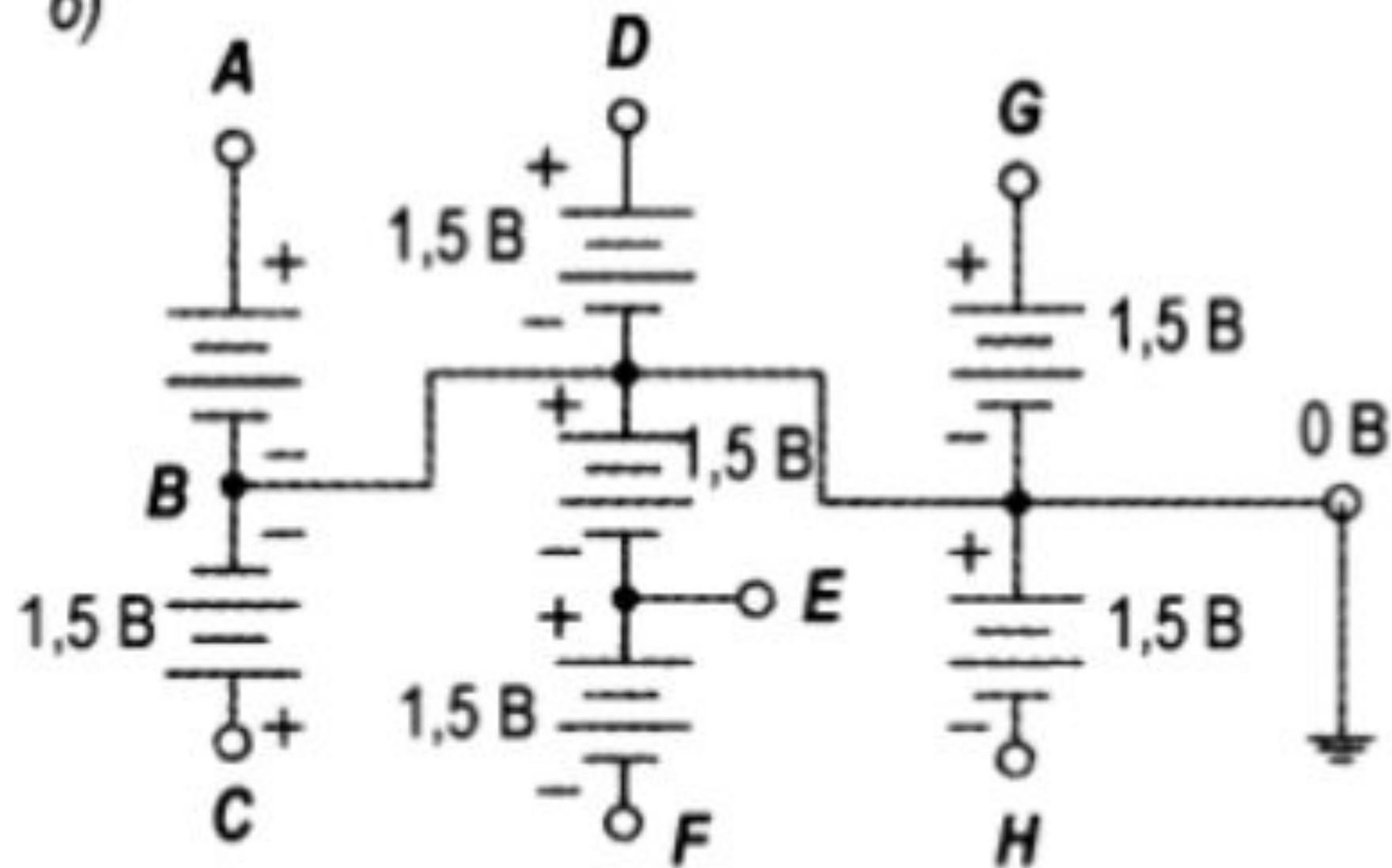
РИС. 2.13. Упражнение в определении напряжений между произвольными точками цепи

Ответ. а) $U_{AC} = 0$ В, $U_{BD} = 0$ В, $U_{AD} = 0$ В, $U_{BC} = 0$ В; б) $U_{AC} = 3$ В, $U_{BD} = 0$ В, $U_{AD} = 12$ В, $U_{BC} = 9$ В; в) $U_{AC} = 12$ В, $U_{BD} = 9$ В, $U_{AD} = 21$ В, $U_{BC} = 0$ В; г) $U_{AC} = 3$ В, $U_{AB} = 6$ В, $U_{CD} = 1,5$ В, $U_{AD} = 1,5$ В, $U_{BD} = 4,5$ В.

a)



b)



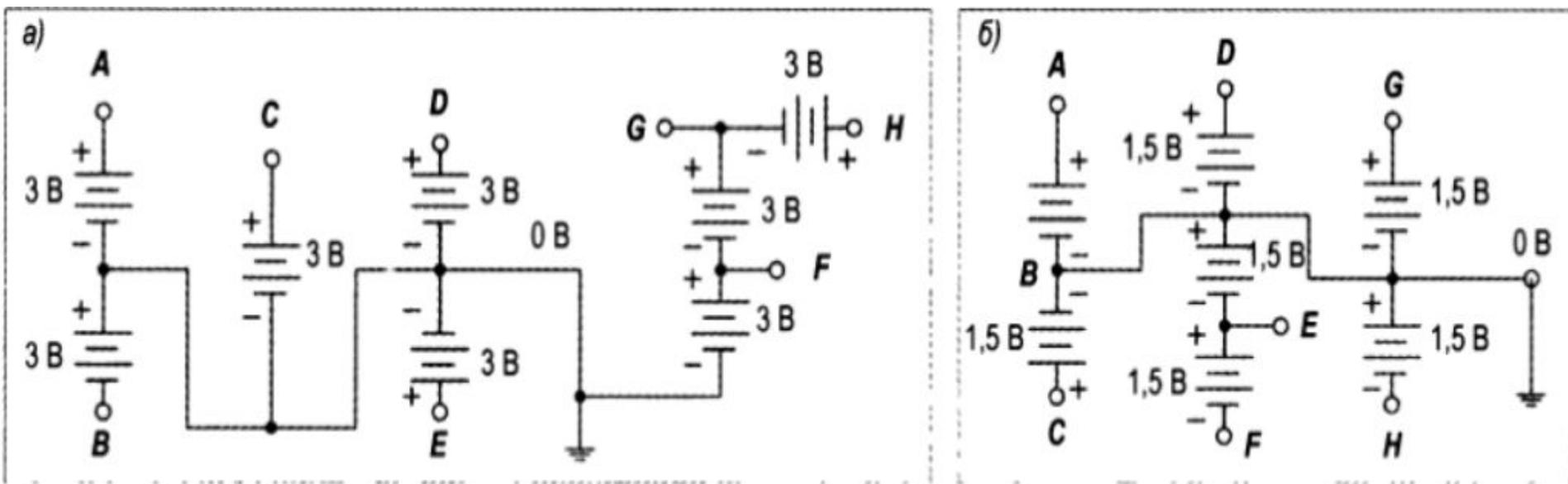
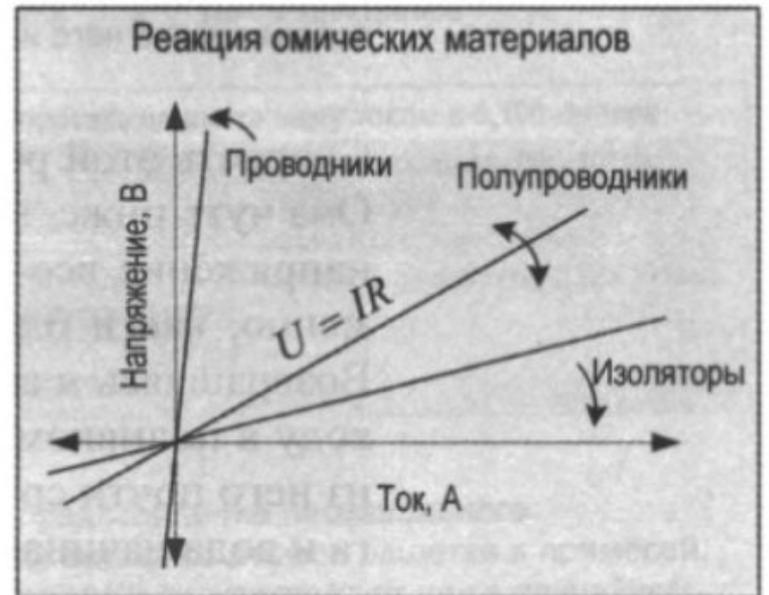
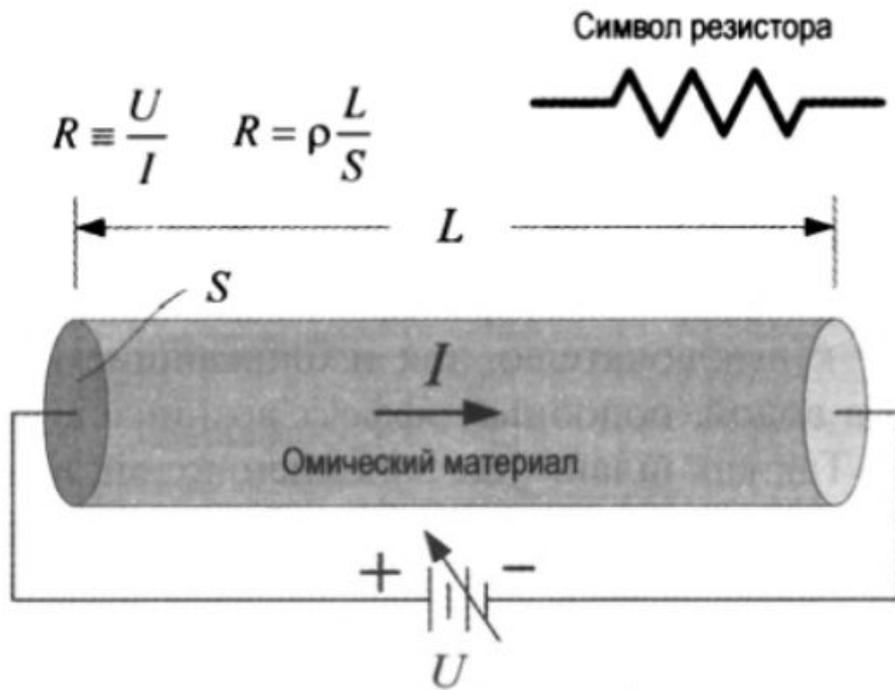
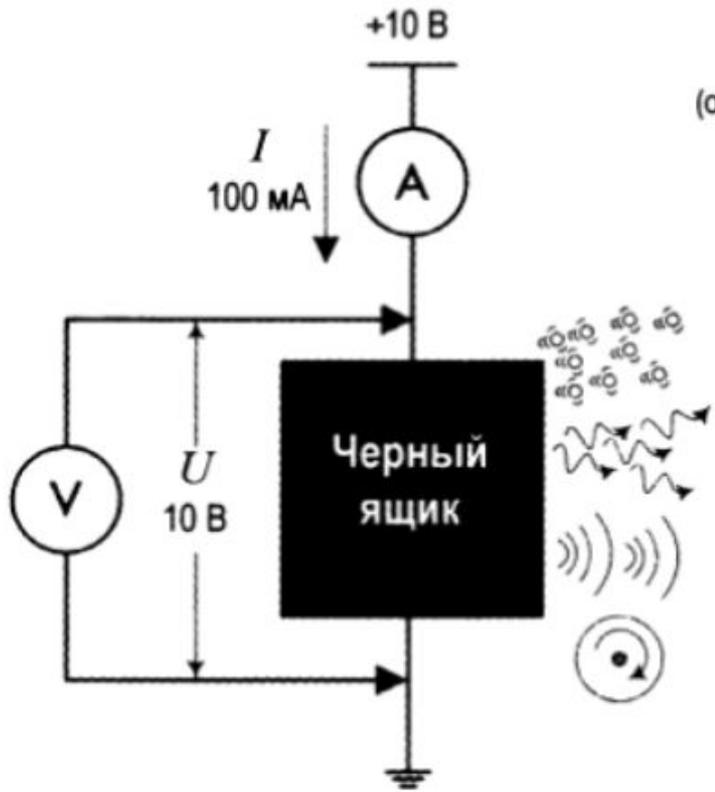


РИС. 2.14. Упражнение в определении напряжения в точке цепи относительно опорной земли

Ответ. а) $U_A = 3 \text{ В}$, $U_B = -3 \text{ В}$, $U_C = 3 \text{ В}$, $U_D = 3 \text{ В}$, $U_E = 3 \text{ В}$, $U_F = 3 \text{ В}$, $U_G = 6 \text{ В}$, $U_H = 9 \text{ В}$; б) $U_A = 1,5 \text{ В}$, $U_B = 0 \text{ В}$, $U_C = 1,5 \text{ В}$, $U_D = 1,5 \text{ В}$, $U_E = -1,5 \text{ В}$, $U_F = -3,0 \text{ В}$, $U_G = 1,5 \text{ В}$, $U_H = -1,5 \text{ В}$.





$$P = IU = (0,1 \text{ A})(10 \text{ В}) = 1 \text{ Вт}$$

Обобщенный закон мощности
(общая потребленная/утраченная мощность)

$$P = IU$$

Не зависит от материала и механизма проводимости. Мощность P может быть любой комбинацией тепла, электромагнитной радиации, электромеханической энергии и т.п.

- Тепло
- Фотоны (например, ИК-свет, видимый свет, радиоволны)
- Электромеханические (например, двигатели, динамики)
- Прочие: химические, гистерезис, вихревые токи, потери в диэлектрике и т.п.

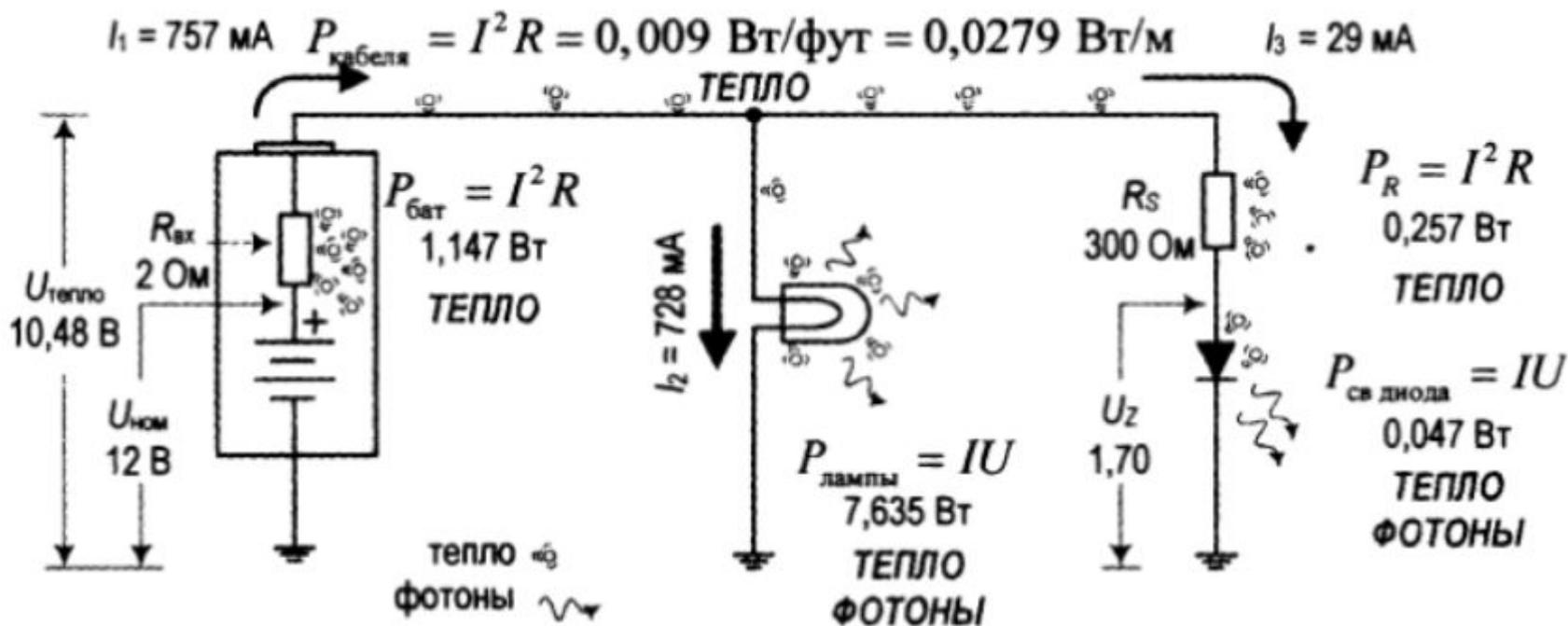
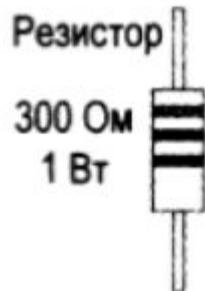
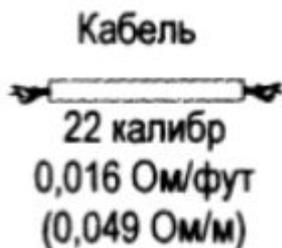
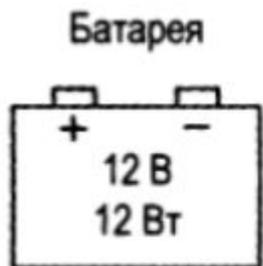
Закон мощности Ома
(потери омического нагрева)

$$U = IR$$

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad P = I^2 R$$

~~$P_{\text{тепла}} = IU$~~

Только если черный ящик на 100% омический



$$P_{\text{общ}} = P_{\text{бат}} + P_{\text{кабеля}} + P_{\text{лампы}} + P_R + P_{\text{св диода}} = 9,086 \text{ Вт}$$

Определить сопротивление четырех прутков материала, каждый длиной 1 м и диаметром 2 мм — медный, латунный, из нержавеющей стали и графитовый. Также определить мощность, уходящую в тепло при протекании тока в 0,2 А в каждом из них.

Решение. Применив уравнение (2.5), получаем следующее:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{\pi r^2} = \rho \frac{1 \text{ м}}{\pi (0,001 \text{ м})^2} = \rho \frac{1 \text{ м}}{3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = \rho (3,18 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}).$$

По табл. 2.3:

$$\rho_{\text{медь}} = 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом};$$

$$\rho_{\text{латунь}} = 7,00 \cdot 10^{-8} \text{ Ом};$$

$$\rho_{\text{сталь}} = 7,20 \cdot 10^{-7} \text{ Ом};$$

$$\rho_{\text{графит}} = 3,50 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}.$$

Подставив эти значения в выражение сопротивления, получаем:

$$R_{\text{медь}} = 5,48 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

$$R_{\text{латунь}} = 2,23 \cdot 10^{-2} \text{ Ом};$$

$$R_{\text{сталь}} = 2,31 \cdot 10^{-1} \text{ Ом};$$

$$R_{\text{графит}} = 11,1 \text{ Ом}.$$

Для вычисления потерь мощности используем уравнение (2.106):

$$P = I^2 R = (0,2 \text{ А})^2 R = (0,04 \text{ А}^2) R;$$

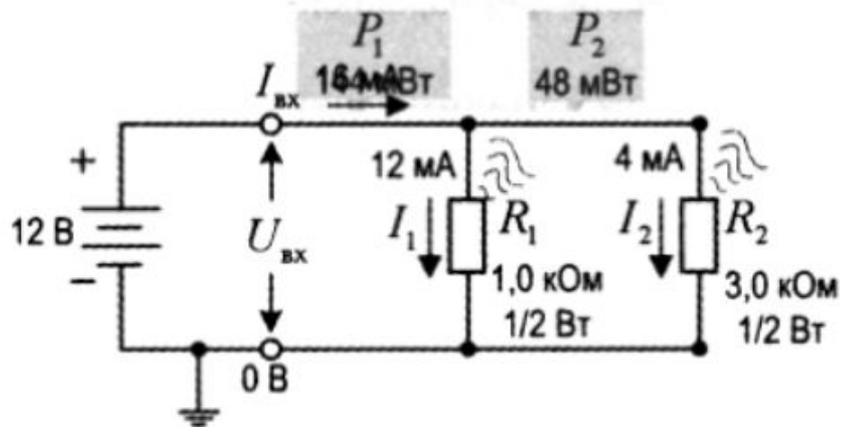
$$P_{\text{медь}} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ Вт};$$

$$P_{\text{латунь}} = 8,9 \cdot 10^{-4} \text{ Вт};$$

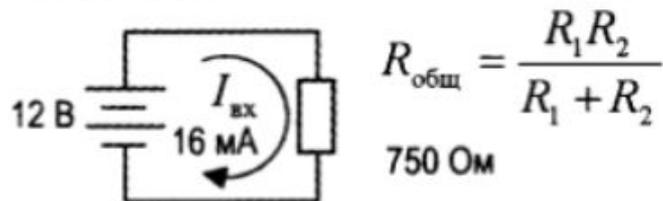
$$P_{\text{сталь}} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$P_{\text{графит}} = 0,44 \text{ Вт}.$$

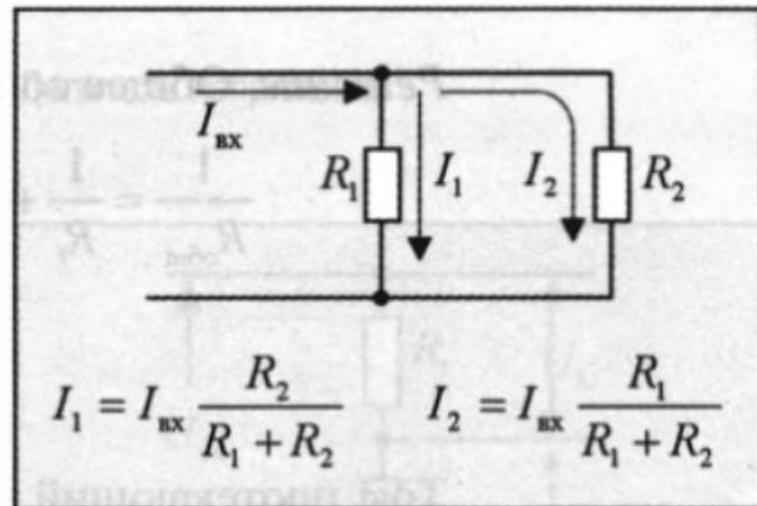
Параллельно соединенные резисторы



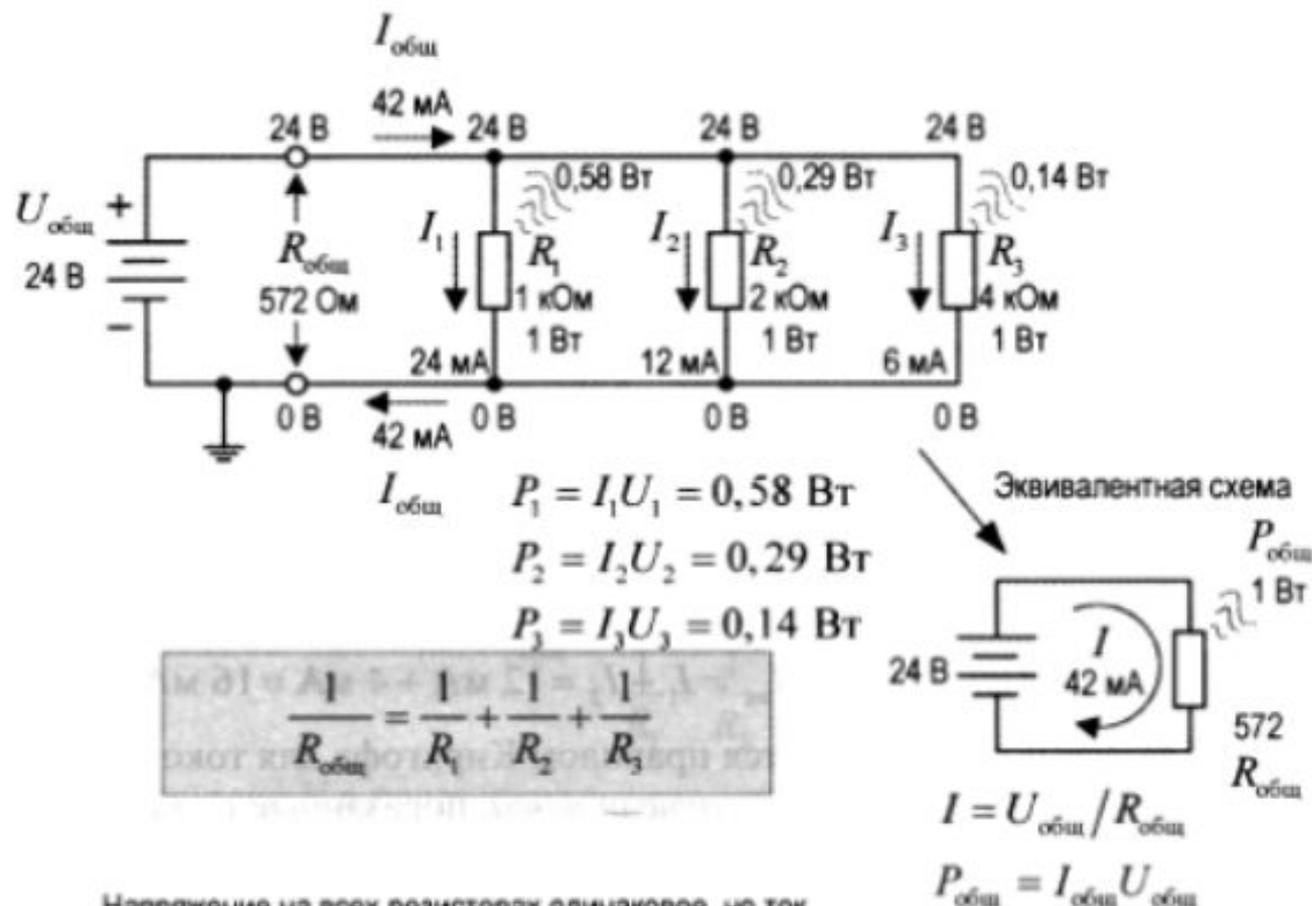
Эквивалентная схема



Делитель тока



Три резистора — $R_1 = 1 \text{ кОм}$, $R_2 = 2 \text{ кОм}$, $R_3 = 4 \text{ кОм}$ — соединены параллельно (рис. 2.42). Определить их общее сопротивление. Кроме этого, полагая, что на резисторы подается напряжение 24 В , определить общий ток резисторов, ток для каждого резистора, общую рассеиваемую мощность и рассеиваемую мощность для каждого резистора.



$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Напряжение на всех резисторах одинаковое, но ток через каждый резистор зависит от его сопротивления.

Решение. Общее сопротивление соединенных параллельно резисторов:

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{1000 \text{ Ом}} + \frac{1}{2000 \text{ Ом}} + \frac{1}{4000 \text{ Ом}} = 0,00175 \text{ Ом}^{-1};$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{1}{0,00175 \text{ Ом}^{-1}} = 572 \text{ Ом}.$$

Ток, протекающий по каждому из резисторов:

$$I_1 = U_1 / R_1 = 24 \text{ В} / 1000 \text{ Ом} = 0,024 \text{ А} = 24 \text{ мА};$$

$$I_2 = U_2 / R_2 = 24 \text{ В} / 2000 \text{ Ом} = 0,012 \text{ А} = 12 \text{ мА};$$

$$I_3 = U_3 / R_3 = 24 \text{ В} / 3000 \text{ Ом} = 0,008 \text{ А} = 8 \text{ мА}.$$

Общий ток вычисляем по правилу Кирхгофа для токов:

$$I_{\text{общ}} = I_1 + I_2 + I_3 = 24 \text{ мА} + 12 \text{ мА} + 8 \text{ мА} = 44 \text{ мА}.$$

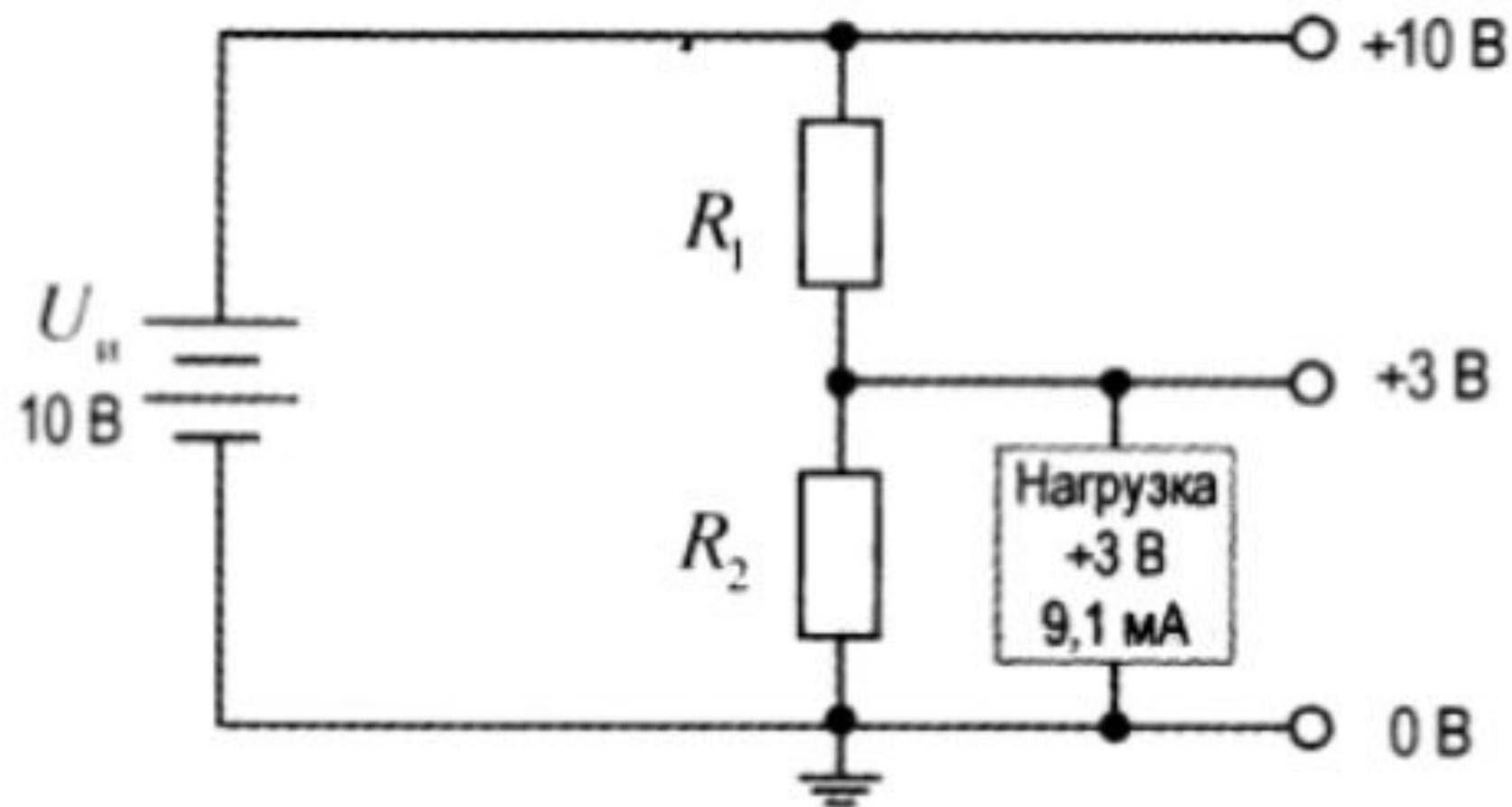
Общая мощность, рассеиваемая всеми тремя параллельными резисторами:

$$P_{\text{общ}} = I_{\text{общ}} U_{\text{общ}} = (0,044 \text{ А})(24 \text{ В}) = 1,056 \text{ Вт}.$$

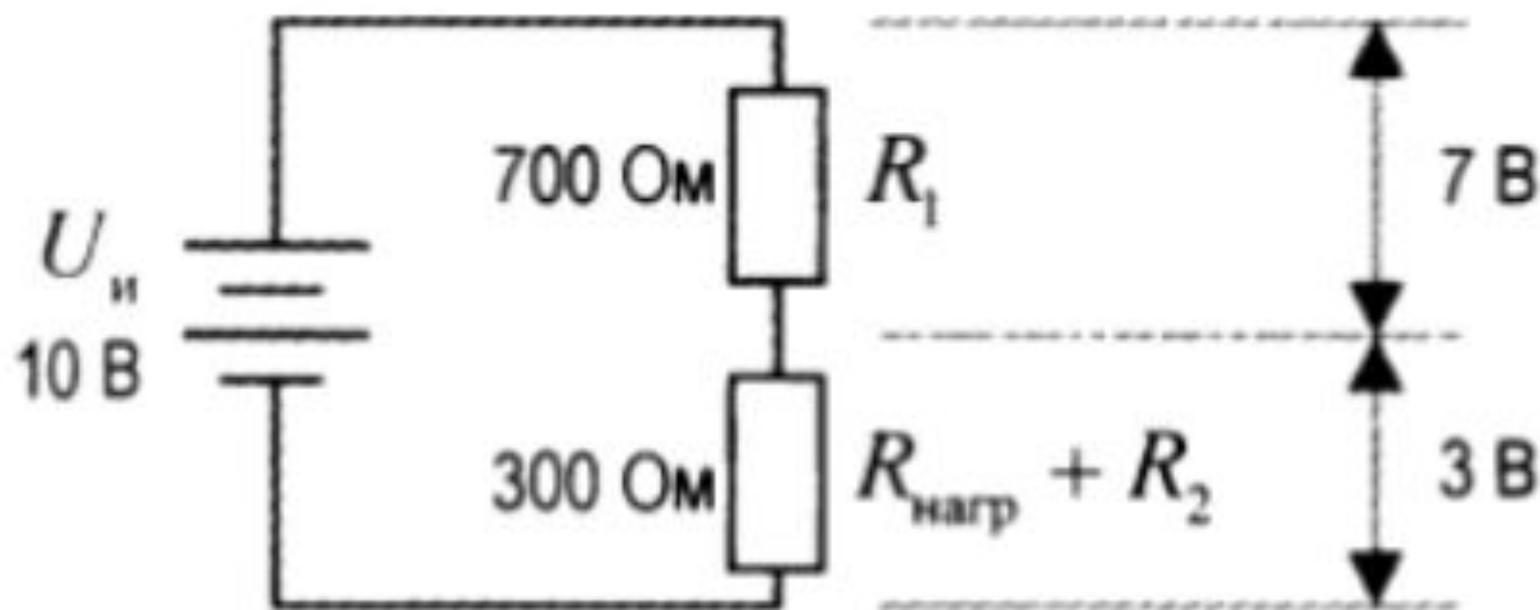
Имеется устройство, требующее питание напряжением 3 В и потребляющее ток силой 9,1 мА. Нам доступен только источник питания напряжением 10 В. Создать делитель напряжения для питания данного устройства.

Решение. В данном случае устройство потребляет ток и его следует принимать во внимание. Для этого будем рассматривать его, как резистор, соединенный параллельно с резистором R_2 . При этом, при расчете делителя напряжения нужно применить так называемое *правило 10-ти процентов* (рис. 2.45).

Проектирование делителя напряжения



Эквивалентная схема



Правило 10-ти процентов. Это правило является стандартным способом выбора значений резисторов R_1 и R_2 делителя напряжения, которое берет в учет нагрузку и сводит к минимуму излишние потери мощности в делителе.

Первым делом нужно подобрать такое значение резистора R_2 , чтобы ток I_2 был равен 10% от желаемого тока нагрузки. Эти сопротивление и ток называются *сопротивлением делителя* и *током делителя*. В нашем примере ток делителя составляет:

$$I_{\text{делителя}} = I_2 = 0,10 \cdot (9,1 \text{ мА}) = 0,91 \text{ мА}.$$

Далее мы применяем закон Ома и вычисляем сопротивление делителя:

$$R_{\text{делителя}} = R_2 = 3 \text{ В} / 0,00091 \text{ А} = 3297 \text{ Ом.}$$

Принимая в учет допуски на точность и стандартные номиналы резисторов, выбираем номинал резистора, ближайший к полученному значению — 3300 Ом.

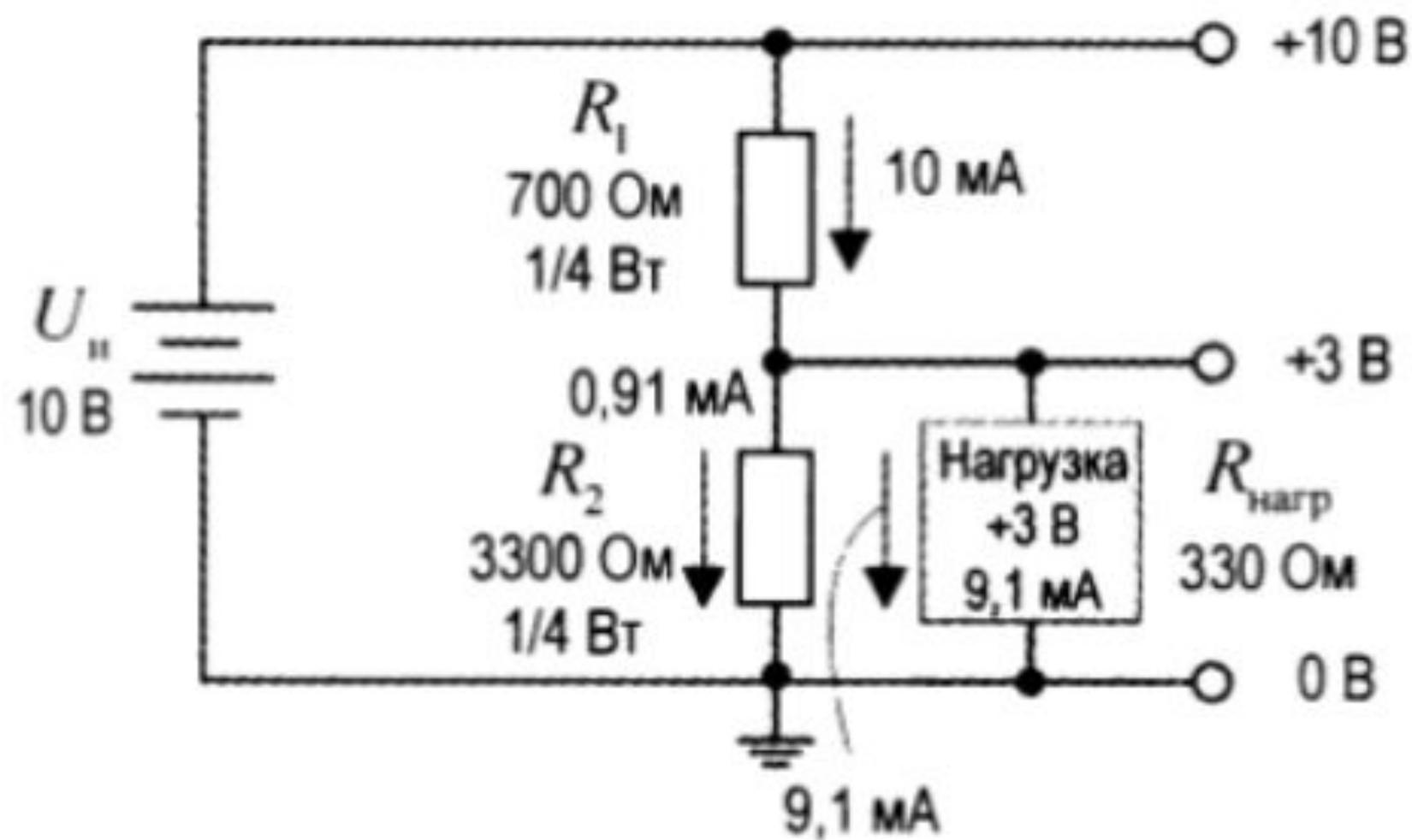
Теперь нужно подобрать значение резистора R_1 , чтобы получить выходное напряжение 3 В.

Для этого просто вычисляем общий ток через резистор и применяем закон Ома:

$$I = I_2 + I_{\text{нагр}} = 0,91 \text{ мА} + 9,1 \text{ мА} = 10,0 \text{ мА} = 0,01 \text{ А};$$

$$R_1 = \frac{10 \text{ В} - 3 \text{ В}}{0,01 \text{ А}} = 700 \text{ Ом.}$$

С учетом нагрузки

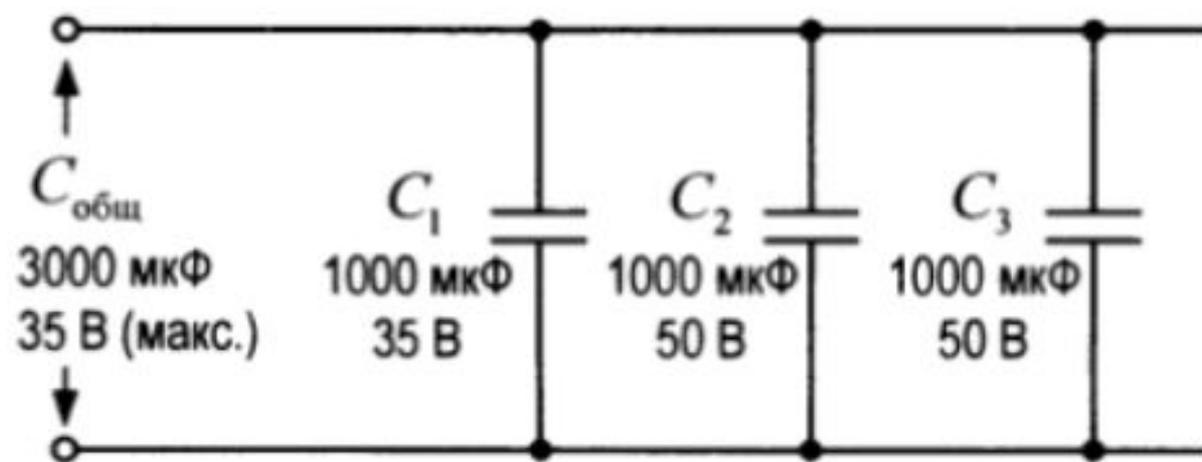


Далее вычисляем номинальную мощность для каждого резистора:

$$P_{R_1} = U_1^2 / R_1 = (7 \text{ В})^2 / (700 \text{ Ом}) = 0,07 \text{ Вт} = 70 \text{ мВт};$$

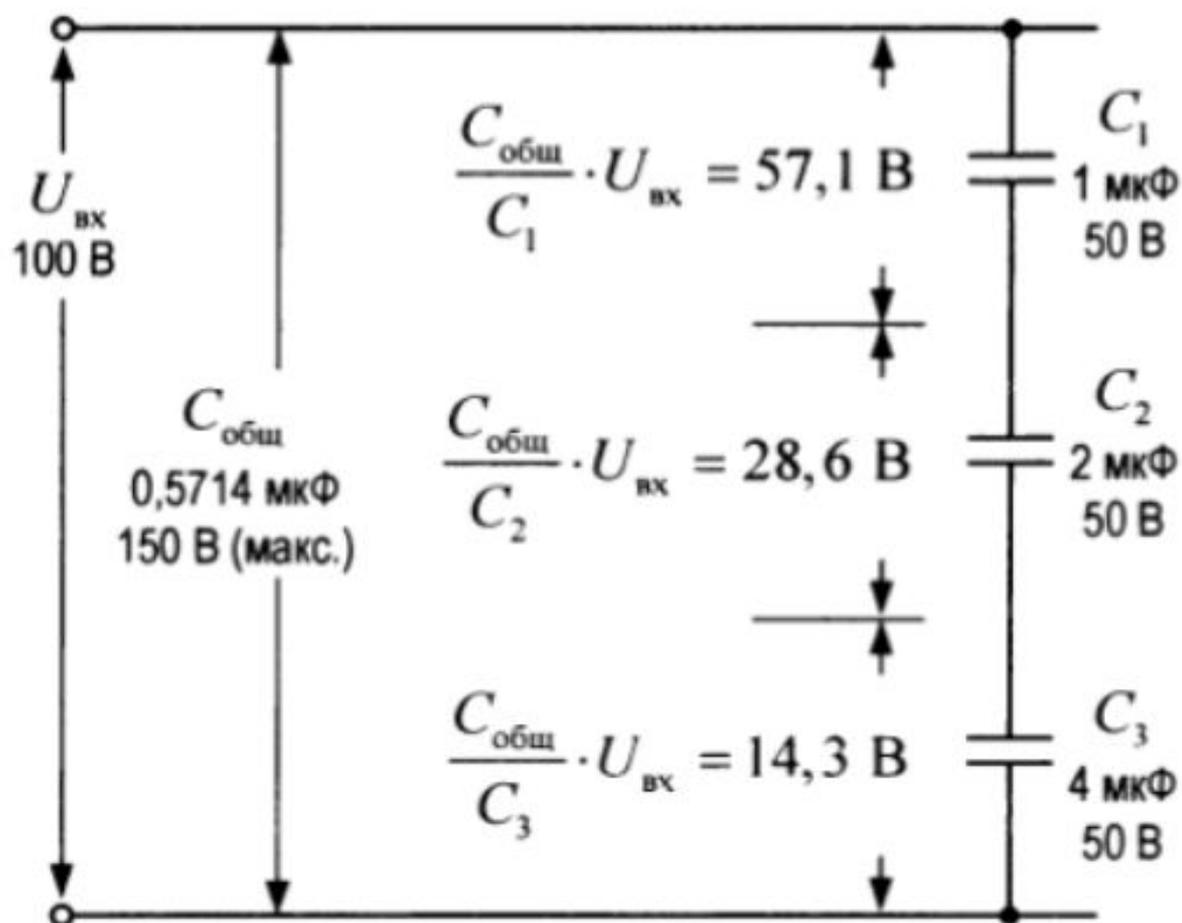
$$P_{R_2} = U_2^2 / R_2 = (3 \text{ В})^2 / (3300 \text{ Ом}) = 0,003 \text{ Вт} = 3 \text{ мВт}.$$

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



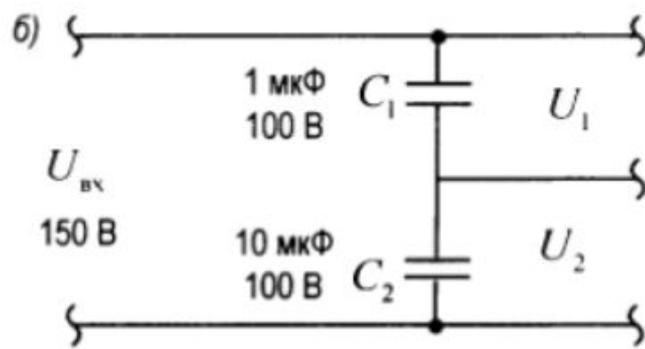
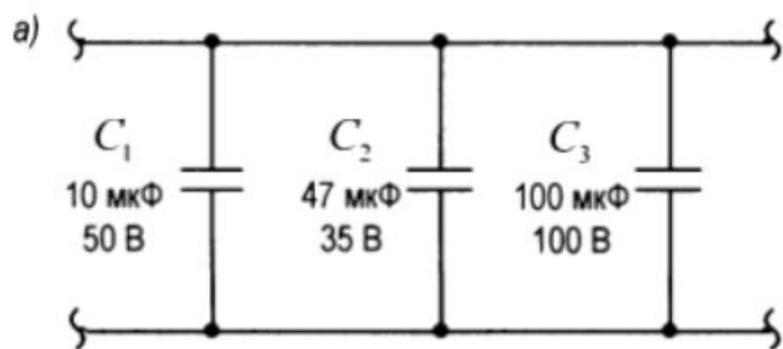
$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

- б) Повышает максимальное номинальное напряжение, но понижает общую емкость



$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Определить общую емкость и максимальное рабочее напряжение для конденсаторных сборок на рис. 3.80, а, а также U_1 и U_2 для схемы б.



Определить общую емкость и максимальное рабочее напряжение для конденсаторных сборок на рис. 3.80, а, а также U_1 и U_2 для схемы б.

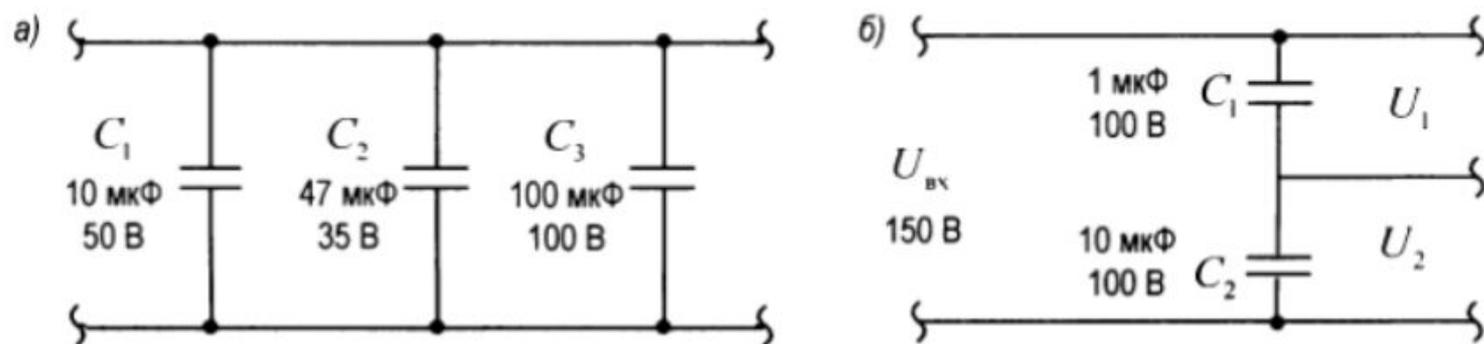


РИС. 3.80. Определение общей емкости конденсаторных сборок

Ответ: а) 157 мкФ, 35 В; б) 0,9 мкФ, 200 В, $U_1 = 136$ В, $U_2 = 14$ В.

Для схемы на рис. 2.48 определить эквивалентное сопротивление всех ее резисторов, общий ток, ток через отдельные резисторы и падение напряжения на каждом резисторе.

