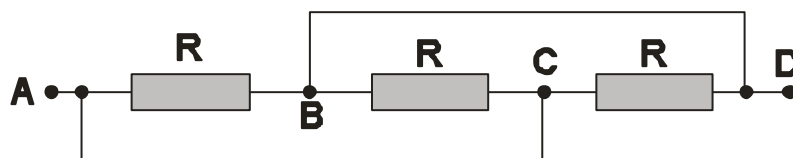


Олимпиада для студентов и выпускников – 2018 г.

Направление «Электроника и наноэлектроника»

Время выполнения задания – 240 мин.

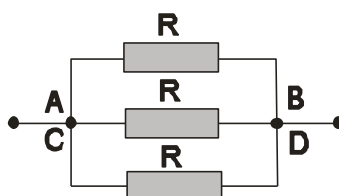
Задача 1 (5 баллов)



Три одинаковых сопротивления соединены, как показано на рисунке. Определить сопротивление между точками A и D.

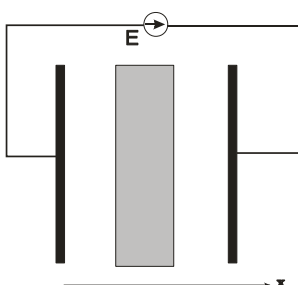
Решение.

Точки A и C имеют одинаковый потенциал, т.к. соединены проводом, сопротивлением которого можно пренебречь. Точно так же одинаковы потенциалы точек B и D. Поэтому концы сопротивлений A, C и, соответственно, B, D можно считать соединенными вместе. Таким образом, сопротивления AB, CB, CD соединены параллельно. Соответствующая схема представлена на рисунке:



Полное сопротивление равно $R/3$.

Задача 2 (10 баллов)



Между пластин плоского воздушного конденсатора, подсоединенного к источнику ЭДС E , вставлена пластина диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ϵ . Нарисовать качественно зависимость напряженности электрического поля от координаты x .

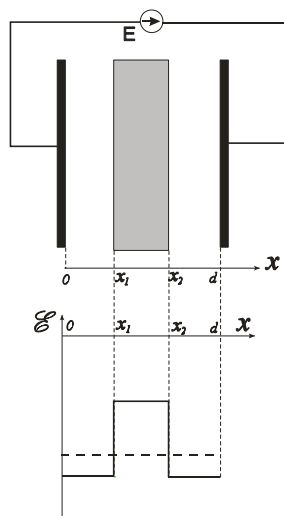
На том же графике (пунктиром) нарисовать, как изменится эта зависимость, если диэлектрическую пластину убрать.

Решение.

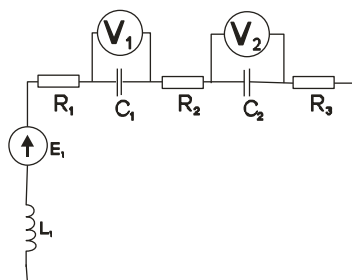
Поскольку вектор электрической индукции $D = \epsilon E$ между пластинами конденсатора не зависит от координаты, то напряженность электрического поля будет меняться обратно

Олимпиада для студентов и выпускников – 2018 г.

пропорционально диэлектрической постоянной. Соответственно зависимость $E = f(x)$ будет выглядеть, как показано на рисунке. Пунктиром на рисунке изображена та же зависимость при отсутствии диэлектрика.



В зоне, где был диэлектрик, поле увеличится, а на остальных участках - уменьшится, т.к. интеграл от поля по координате (при интегрировании от 0 до d) в обоих вариантах равен напряжению источника питания.

Задача 3 (10 баллов)

Для заданной схемы определить показания вольтметров в стационарном случае, если известно: $E_1=100$ В, $R_1=10$ Ом, $R_2=20$ Ом, $R_3=30$ Ом, $C_1=100$ пФ, $C_2=200$ пФ, $L_1=10$ Гн. Ответ обосновать.

Решение.

Поскольку постоянный ток через конденсаторы не течет, то наличие в схеме резисторов и индуктивностей никак не влияет на распределение напряжений на конденсаторах.

При последовательном соединении конденсаторы заряжаются одинаковым количеством электричества, так как непосредственно от источника тока заряжаются только крайние пластины, а остальные пластины заряжаются через влияние. При этом заряд пластины 2 будет равен по величине и противоположен по знаку заряду пластины 1, заряд пластины 3 будет равен по величине и противоположен по знаку заряду пластины 2.

Напряжения на конденсаторах будут различными, так как для заряда одним и тем же количеством электричества конденсаторов различной емкости всегда требуются различные напряжения. Чем меньше емкость конденсатора, тем большее напряжение необходимо для того, чтобы зарядить этот конденсатор требуемым количеством электричества, и наоборот.

Олимпиада для студентов и выпускников – 2018 г.

Таким образом, при заряде группы конденсаторов, соединенных последовательно, на конденсаторах малой емкости напряжения будут больше, а на конденсаторах большой емкости — меньше.

Напряжения на каждом из конденсаторов найдем из следующей системы уравнений

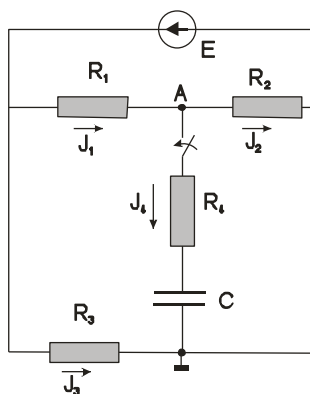
$$1) \frac{V_1}{V_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

$$2) V_1 + V_2 = E$$

Ответ: $V_1 \approx 66,6$ В;

$V_2 \approx 33,3$ В

Задача 4 (10 баллов)



Дано: $E = 100$ В, $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = R_3 = R_4 = 40$ Ом, $C = 250$ пФ

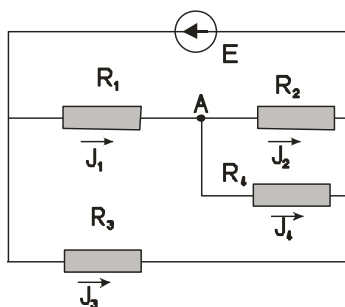
- Определить значения токов в ветвях и напряжение на емкости до момента коммутации.
- Определить значения токов в ветвях и напряжение на емкости в первый момент после коммутации.
- Нарисовать качественную зависимость напряжения на емкости от времени.
- Определить установившиеся значения токов в ветвях и напряжения на емкости после коммутации.

Решение.

- До коммутации

$$J_1 = J_2 = 2,222 \text{ А}; \quad J_3 = 2,5 \text{ А}; \quad J_4 = 0; \quad V_C = 0$$

- В первый момент после коммутации сопротивление емкости равно 0 и схема приобретает следующий вид:



$$J_1 = 100 \text{ В} / 25 \text{ Ом} = 4 \text{ А}; \quad J_3 = 2,5 \text{ А}; \quad J_2 = J_4 = 2 \text{ А}; \quad V_C = 0$$

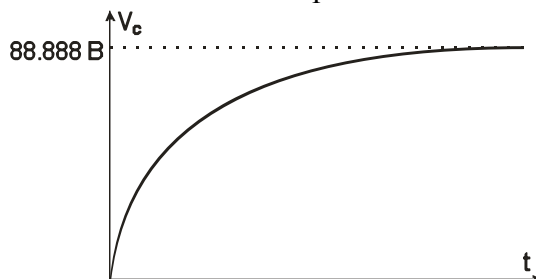
Олимпиада для студентов и выпускников – 2018 г.

- Установившиеся значения токов в ветвях и напряжения на емкости после коммутации:

$$J_1 = J_2 = 2,222 \text{ A}; \quad J_3 = 2,5 \text{ A}; \quad J_4 = 0$$

$$V_C = 88.888 \text{ В}$$

- Зависимость напряжения на емкости от времени:

**Задача 5** (20 баллов)

Монокристалл кремния легирован одновременно бором с энергией активации $E_A = (E_V + 0.045)$ эВ в количестве 10^{17} см^{-3} и фосфором с энергией активации $E_D = (E_C - 0.045)$ эВ в количестве $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

- Определить равновесную концентрацию электронов и дырок в этом материале при комнатной температуре. Считать концентрацию собственных носителей заряда при комнатной температуре равной 10^{10} см^{-3} .
- Нарисовать (качественно) энергетическую диаграмму этого полупроводника для комнатной температуры (с обозначением энергии Ферми)
- Определить положение энергии Ферми в этом материале при 0 К.

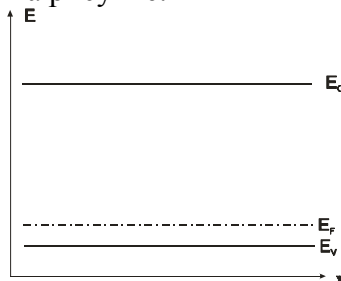
Решение объяснить.

Решение.

- Поскольку акцепторов (бора) в материале больше, чем доноров (фосфора), то получившийся материал будет *p*-типа с равновесной концентрацией основных носителей заряда (дырок) p_0 , равной разности $10^{17} \text{ см}^{-3} - 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3} = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Концентрацию электронов в этом материале можно найти из закона действующих

$$\text{масс: } n_0 \cdot p_0 = n_i^2. \text{ Отсюда } n_0 = \frac{n_i^2}{p_0} = \frac{10^{20}}{5 \cdot 10^{16}} = 2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$$

- Энергетическая диаграмма этого полупроводника при комнатной температуре имеет вид, изображенный на рисунке:



- При нуле Кельвина уровень E_D будет полностью свободен, а уровень E_A будет заполнен частично. Следовательно, вероятность заполнения уровня E_A будет находиться в интервале от 0 до 1. Это возможно только при условии, что уровень Ферми при 0К будет совпадать с уровнем E_A

Ответ: $E_F = (E_V + 0.045)$ эВ

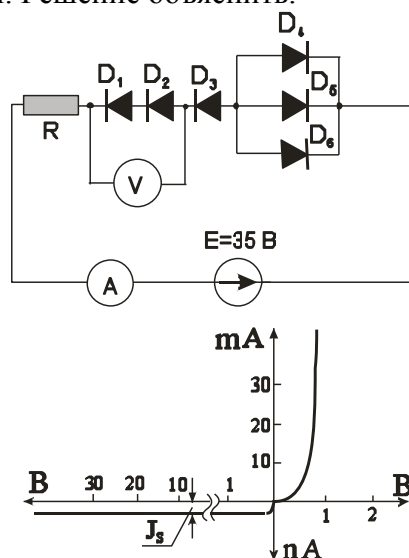
Олимпиада для студентов и выпускников – 2018 г.

Задача 6 (20 баллов)

Дано: Электрическая цепь состоит из источника напряжения $E=35$ В; сопротивления $R=1$ Мом и соединенных указанным образом семи выпрямительных полупроводниковых диодов. Все диоды тождественны и обладают одинаковыми вольтамперными характеристиками, изображенными на рис. Уравнение вольтамперных характеристик

диодов имеет вид: $J = J_S \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$, где $J_S = 100$ нА, q – заряд электрона, T –

температура, равная 300К, k -постоянная Больцмана (произведение kT при температуре 300К считать равным 0,025эВ). Определить показания вольтметра с точностью до четвертого знака после запятой. Решение объяснить.

**Решение.**

Как видно из схемы, диоды 1, 2 и 3 соединены последовательно и подключены в прямом направлении, 4, 5 и 6 – заперты и подключены параллельно. Если бы сопротивление R было бы много больше суммарного сопротивления всех диодов, то ток в цепи был бы порядка $J \approx \frac{E}{R} = 35$ мкА. Но через каждый из обратнo смещенных диодов $D_4 - D_6$ течет ток 100 нА. Соответственно, амперметр будет показывать утроенное значение: 300 нА = $3 J_S$. Такой же ток будет протекать через каждый диод, включенный в прямом направлении. Тогда для диода 1 можно записать следующее уравнение:

$$3J_S = J_S \left(e^{\frac{qV_{D1}}{kT}} - 1 \right)$$

Решаем это уравнение относительно V_{D1}

$$e^{\frac{qV_{D1}}{kT}} = 4$$

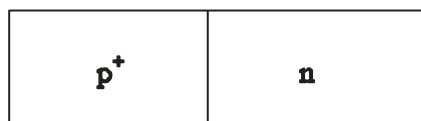
$$\text{Отсюда: } V_{D1} = \frac{kT}{q} \ln 4 = 0.025 \ln 4 = 0.0347 \text{ В}$$

Столько же упадет и на диоде 2. Таким образом, вольтметр покажет сумму напряжений

Ответ: вольтметр покажет 0,0694 В

Олимпиада для студентов и выпускников – 2018 г.

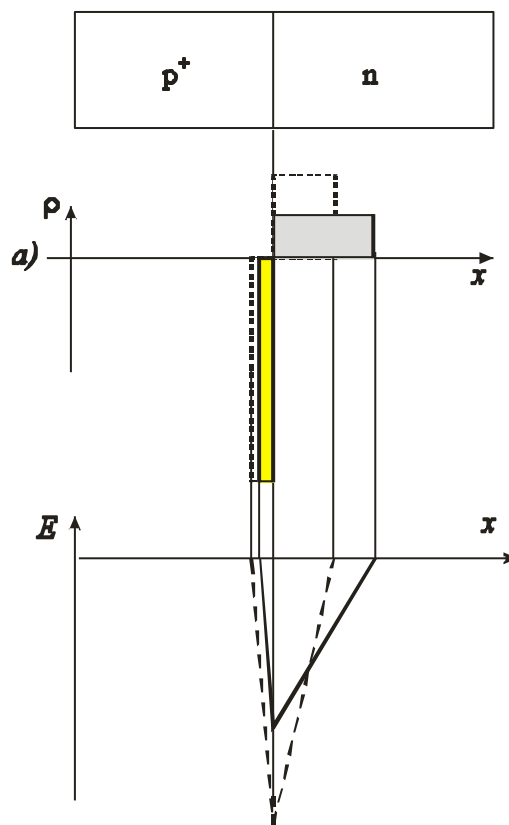
Задача 7 (25 баллов)



Для резкого (ступенчатого) p^+n -перехода, находящегося в равновесии, нарисовать эпюры плотности объемного заряда (в приближении объемного заряда) и напряженности контактного электрического поля. На тех же графиках пунктирной линией показать, как изменятся эти зависимости, если концентрацию типозадающей примеси в n -области увеличить вдвое.

Решение.

Сравнительные эпюры плотности объемного заряда и электрического поля будут иметь вид, изображенный на рисунке:



Изменение концентрации примеси в базовой области диода приведет:

- к изменению плотности объемного заряда в n -области (в два раза),
- к изменению толщины слоя объемного заряда как в n - так и в p -области,
- изменится угловой коэффициент (вдвое) зависимости напряженности электрического поля в n -области а в p -области угловой коэффициент останется прежним,
- изменится (увеличится) контактная разность потенциалов, т.е. площадь под зависимостью $E(x)$, а значит увеличится значение максимального электрического поля.