УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ АДМИНИСТРАЦИИ
СЕРГИЕВО-ПОСАДСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА

**МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**

**«ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ЛИЦЕЙ»**

**Конденсатор**

**в цепи постоянного тока**

**Лекция для учителей физики города и района**

Учитель физики Русаков А. В.

Конденсатор представляет собой две проводящие пластины, разделенные диэлектриком. Поэтому через конденсатор электрический ток течь не может. Казалось бы, что конденсатору в электрической цепи делать нечего. Однако имеется очень много задач, в которых конденсатор находится в цепи постоянного тока (цепи переменного тока мы здесь рассматривать не будем).

Есть две причины, по которым конденсаторы включают в электрическую цепь. Во-первых, конденсатор может накапливать большой электрический заряд и, соответственно, большую энергию электрического поля. А во-вторых, во время зарядки или разрядки конденсатора на его пластины идет заряд (или с пластин уходит заряд). Поэтому в течение короткого времени зарядки и разрядки по проводам, подходящим к конденсатору, течет ток.

Рассмотрим несколько конкретных задач с конденсатором в цепи постоянного тока.

**Задача 1.** Определить заряд на конденсаторе в представленной цепи. Емкость конденсатора 3 мкФ, ЭДС источника 1,5 В, его внутреннее сопротивление 5 Ом, R = 20 Ом.

 Решение. По среднему участку цепи, содержащему конденсатор и резистор, ток не течет. Ток течет только по верхнему и нижнему участкам. Поэтому верхний и нижний резисторы оказываются соединены параллельно и их общее сопротивление равно R/2. Общий ток в цепи равен

$$I=\frac{ε}{R\_{0}+r}=\frac{ε}{\frac{1}{2}R+r}$$

Так как по среднему резистору ток не течет, разность потенциалов на нем равна нулю, а, значит, напряжение на конденсаторе равно разности потенциалов на клеммах источника

$$U\_{C}=\frac{q}{C}=ε-Ir=ε-\frac{εr}{\frac{1}{2}R+r}$$

Отсюда выражаем заряд конденсатора.

Ответ: q = 3 мкКл

Это была сравнительно простая задача. Рассмотрим теперь более сложную.

**Задача 2.** Определить разность потенциалов между точками А и В в представленной на рисунке цепи. С1 = 1 мкФ, С2 = 2 мкФ, R1 = 8 Ом, R2 = 20 Ом, ε = 12 В, r = 2 Ом. (4,27 В)

С

Решение. Электрический ток течет только по нижнему контуру, содержащему два резистора и источник. Сила тока равна

$$I=\frac{ε}{R\_{1}+R\_{2}+r} (1)$$

Конденсаторы заряжены их общее напряжение равно разности потенциалов на клеммах источника. Так как конденсаторы соединены последовательно, то можно записать:

$$U\_{1}+U\_{2}=\frac{q}{C\_{1}}+\frac{q}{C\_{2}}=ε-Ir (2)$$

Разность потенциалов между точками С и В равна

$$φ\_{C}-φ\_{B}=IR\_{2}$$

Разность потенциалов между точками С и А равна

$$φ\_{C}-φ\_{A}=U\_{2}=\frac{q}{C\_{2}}$$

Искомая разность потенциалов между точками А и В можно выразить как

$$φ\_{A}-φ\_{B}=\left(φ\_{C}-φ\_{B}\right)-\left(φ\_{C}-φ\_{A}\right)= IR\_{2}-\frac{q}{C\_{2}}$$

С учетом (1) и (2) получаем ответ.

Ответ: $Δφ\_{AB}=4,27 B$

Рассмотрим теперь задачу, в которой рассматриваются процесс зарядки конденсатора.

**Задача 3.** Сразу после замыкания ключа вольтметр показал 6 В, а после зарядки конденсатора - 9,6 В. Что показывал вольтметр до замыкания ключа. R1 = 1 Ом, R2 = 2 Ом, вольтметр идеальный.

Решение. Сразу заметим, что до замыкания ключа никакого тока не было (вольтметр идеальный) и вольтметр, подключенный к клеммам источника, показывал его ЭДС. Следовательно, надо найти ЭДС источника.

Далее заметим, что конденсатор соединен параллельно с резистором R2, а, значит, в любой момент времени напряжения на резисторе R2 и на конденсаторе равны.

Изначально конденсатор был не заряжен и напряжение на нем было равно нулю. Для того, чтобы конденсатор зарядился и на нем появилось напряжение по проводам, подходящим к конденсатору в течение некоторого времени должен проходить ток. То есть конденсатор не может зарядиться мгновенно, а, значит, сразу после замыкания ключа напряжение на конденсаторе равно нулю. Отсюда следует, что сразу после замыкания ключа напряжение на резисторе R2 тоже равно нулю и ток через него не идет. (Конденсатор начинает заряжаться и весь ток идет на него, миную резистор R2).

Значит сразу после замыкания ключа ток идет только по контуру, содержащему источник, резистор R1 и конденсатор. При этом сила тока равна

$$I\_{1}=\frac{ε}{R\_{1}+r}$$

При этом вольтметр показывает разность потенциалов на клеммах источника, равную

$$U\_{1}=ε-I\_{1}r=ε-\frac{εr}{R\_{1}+r} (1)$$

После зарядки конденсатора ток через него прекращается и весь ток течет по большому контуру, содержащему источник, резистор R1 и резистор R2. Сила тока при этом равна

$$I\_{2}=\frac{ε}{R\_{1}+R\_{2}+r}$$

Вольтметр при этом показывает

$$U\_{2}=ε-I\_{2}r=ε-\frac{εr}{R\_{1}+R\_{2}+r} (2)$$

Решая уравнения (1) и (2) как систему двух уравнений с двумя неизвестными находим ε, а, значит, и показание вольтметра до замыкания ключа.

Ответ: 13,7 В

Под конец рассмотрим еще более сложную задачу.

**Задача 4.** В схеме, представленной на рисунке, в начальном состоянии конденсаторы не заряжены. Какой заряд пройдет через резисторы R0 и R после замыкания ключа? С1 = 8 мкФ, С2 = 20 мкФ, С3 = 6 мкФ, С4 = 8 мкФ, ε = 12 В.

Решение. Сразу после замыкания ключа конденсаторы начнут заряжаться, и через резисторы пойдет ток. Однако через некоторое время конденсаторы зарядятся, и ток во всех резисторах станет равен нулю. За время, в течение которого конденсаторы заряжались, в резисторах тек ток, а, значит, за время зарядки через каждый из резисторов прошел некоторый заряд. Этот заряд и надо найти.

После зарядки конденсаторов разность потенциалов на резисторах будет равна нулю, а, значит, их из схемы можно просто убрать. Нарисуем эквивалентную схему после зарядки.

С1

С2

С3

С4

ε

А

В

С1

С2

С3

С4

ε

ε

С13

С24

а)

б)

в)

+

+

+

+

−

−

−

−

Общая емкость схемы равна:

$$\frac{1}{C\_{0}}=\frac{1}{C\_{13}}+\frac{1}{C\_{24}}=\frac{1}{C\_{1}+C\_{3}}+\frac{1}{C\_{2}+C\_{4}} ⇒ C\_{0}=\frac{\left(C\_{1}+C\_{3}\right)(C\_{2}+C\_{4})}{C\_{1}+C\_{2}+C\_{3}+C\_{4}}$$

Общий заряд схемы равен:

$$q\_{0}=εC\_{0}=\frac{ε\left(C\_{1}+C\_{3}\right)(C\_{2}+C\_{4})}{C\_{1}+C\_{2}+C\_{3}+C\_{4}}$$

Весь этот заряд при зарядке схемы прошел через резистор R0. Следовательно, заряд, прошедший через резистор R0 после замыкания ключа равен: q0 = 1,12·10-4 Кл.

При последовательном соединении конденсаторов заряды на них равны. Значит, можно написать:

$$q\_{13}=q\_{24} ⇒ C\_{13}U\_{13}=C\_{24}U\_{24} ⇒ \left(C\_{1}+C\_{3}\right)U\_{13}=\left(C\_{2}+C\_{4}\right)U\_{24} ⇒ U\_{24}=\frac{1}{2}U\_{13}$$

Кроме того: $U\_{13}+U\_{24}$. Значит получаем:

$$U\_{13}=\frac{2}{3}ε; U\_{24}=\frac{1}{3}ε$$

Теперь найдем заряды конденсаторов:

$$q\_{1}=C\_{1}U\_{13}=\frac{2}{3}εC\_{1}; q\_{2}=C\_{2}U\_{24}=\frac{1}{3}εC\_{2}; q\_{3}=C\_{3}U\_{13}=\frac{2}{3}εC\_{3}; q\_{4}=C\_{4}U\_{24}=\frac{1}{3}εC\_{4}$$

Обратимся теперь к эквивалентной схеме а). Суммарный заряд двух пластин конденсаторов С1 и С2, подключенных к точке А, равен:

$$q\_{A}=q\_{1}-q\_{2}=\frac{2}{3}εC\_{1}-\frac{1}{3}εC\_{2}=-1,6∙10^{-5} Кл$$

А суммарный заряд двух пластин конденсаторов С3 и С4, подключенных к точке В, равен:

$$q\_{B}=q\_{3}-q\_{4}=\frac{2}{3}εC\_{3}-\frac{1}{3}εC\_{4}=1,6∙10^{-5} Кл$$

Система, состоящая из четырех рассмотренных пластин, является электрически замкнутой. Значит, на эту систему заряд извне придти не мог, а значит, заряды появившиеся в точках А и В после зарядки схемы, возникли в результате перераспределения заряда внутри рассматриваемой системы пластин, а значит именно этот заряд прошел через резистор R. Итак, заряд, который прошел через резистор R после замыкания ключа, равен: q = 1,6·10-5 Кл.

Ответ: q0 = 1,12·10-4 Кл; q = 1,6·10-5 Кл