

35-36 Расчёт электростатических цепей при смешанном соединении конденсаторов

2.5. Последовательное соединение конденсаторов

На рисунке 2.5 изображены три конденсатора, соединенные последовательно.

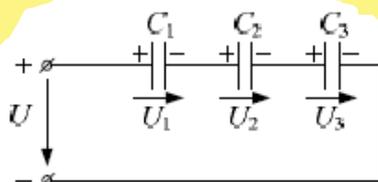


Рис. 2.5. Последовательное соединение конденсаторов

Две крайние обкладки последовательной цепочки конденсаторов присоединены к зажимам источника постоянного напряжения, другие обкладки с источником непосредственно не соединяются и заряжаются вследствие электростатической индукции. Поэтому заряд всех конденсаторов и каждого в отдельности один и тот же:

$$q = q_1 = q_2 = q_3. \quad (2.8)$$

Для упрощения схемы электрической цепи группу конденсаторов можно заменить одним с эквивалентной емкостью C_3 .

Напряжение на группе последовательно соединенных конденсаторов равно сумме напряжений на каждом конденсаторе:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

С учетом уравнений (2.1) и (2.8) получим

$$\frac{q}{C_3} = \frac{q}{C_1} = \frac{q}{C_2} = \frac{q}{C_3}.$$

Сокращая последнее выражение на q , находим

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}. \quad (2.9)$$

Для определения C_3 нужно найти величину, обратную найденной по уравнению (2.9). В частном случае при последовательном соединении двух конденсаторов с емкостями C_1 и C_2 находим

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}. \quad (2.10)$$

Находим значение C_3 , как обратное выражению (2.10):

$$C_3 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Если в последовательную цепь соединяется n конденсаторов одинаковой емкости C_n , то эквивалентная емкость

$$C_3 = \frac{C_n}{n}.$$

Как видим, последовательное соединение конденсаторов уменьшает эквивалентную емкость. Она будет меньше емкости любого из последовательно соединенных конденсаторов.

Однако при последовательном соединении конденсаторов напряжение сети, в которую включена батарея этих конденсаторов, распределяется между этими конденсаторами в зависимости от их емкости. Чем больше емкость конденсатора, тем меньше на нем напряжение. Таким образом, последовательное соединение конденсаторов применяют для того, чтобы напряжение на каждом конденсаторе не превышало его допустимого рабочего напряжения (во избежание пробоя диэлектрика конденсатора).

2.6. Параллельное и смешанное соединение конденсаторов

При параллельном соединении конденсаторов (рис. 2.6)

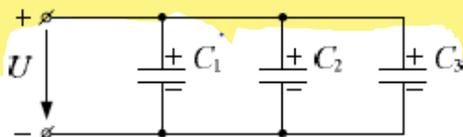


Рис. 2.6. Параллельное соединение конденсаторов

все конденсаторы находятся под одним и тем же напряжением U , а заряды получаются разными:

$$q_1 = C_1 U; \quad q_2 = C_2 U; \quad q_3 = C_3 U. \quad (2.11)$$

Каждый конденсатор получает заряд независимо от другого, поэтому **общий заряд равен сумме зарядов конденсаторов:**

$$q = q_1 + q_2 + q_3. \quad (2.12)$$

Подставляя в уравнение (2.12) выражения зарядов из уравнений (2.11) и сокращая на U , получаем

$$C_3 = C_1 + C_2 + C_3.$$

Эквивалентная емкость равна сумме емкостей. При параллельном соединении n конденсаторов одинаковой емкости C_n эквивалентная емкость

$$C_3 = C_1 + nC_n.$$

Как видим, параллельное соединение конденсаторов увеличивает эквивалентную емкость батареи этих конденсаторов.

Смешанное соединение конденсаторов применяют тогда, когда необходимо увеличить емкость батареи и уменьшить напряжение до допустимого рабочего на каждом конденсаторе.

Пример 2.4. В схеме на рисунке 2.7 емкости конденсаторов $C_1 = 20$ мкФ, $C_2 = 16$ мкФ, $C_3 = 14$ мкФ, а общее напряжение $U = 200$ В. Определить заряд и напряжение каждого конденсатора.

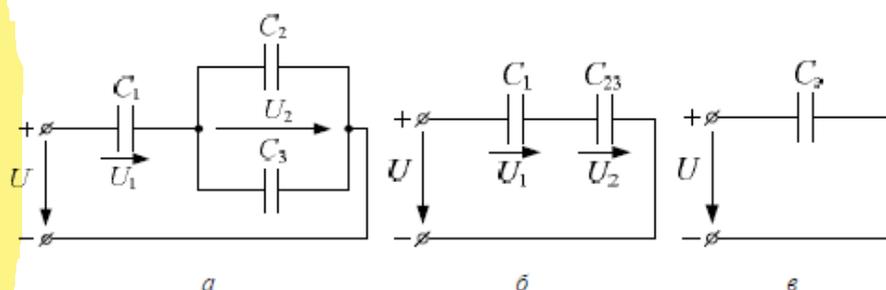


Рис. 2.7. Смешанное соединение конденсаторов и схемы цепей после преобразований

Решение. Эквивалентная емкость параллельно включенных конденсаторов C_2 и C_3 (рис. 2.7, а)

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 30 \text{ мкФ.}$$

На упрощенной схеме (рис. 2.7, б) видно, что конденсаторы C_1 и C_{23} соединены последовательно, эквивалентная емкость этих конденсаторов

$$C_3 = \frac{C_1 C_{23}}{C_1 + C_{23}} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = 12 \text{ мкФ.}$$

Общий заряд системы конденсаторов на схеме рисунка 2.7, а

$$q = C_3 U = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 200 = 24 \cdot 10^{-4} \text{ Кл.}$$

Такой же заряд имеет место на последовательно соединенных конденсаторах C_1 и C_{23} :

$$q = q_1 = q_{23} = 24 \cdot 10^{-4} \text{ Кл.}$$

Тогда напряжение на конденсаторах

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{24 \cdot 10^{-4}}{20 \cdot 10^{-6}} = 120 \text{ В}; \quad U_2 = \frac{q_{23}}{C_{23}} = \frac{24 \cdot 10^{-4}}{30 \cdot 10^{-6}} = 80 \text{ В.}$$

Следовательно, заряды конденсаторов C_2 и C_3 :

$$q_2 = C_2 U_2 = 16 \cdot 10^{-6} \cdot 80 = 12,8 \cdot 10^{-4} \text{ Кл};$$

$$q_3 = C_3 U_2 = 14 \cdot 10^{-6} \cdot 80 = 11,2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл.}$$



Вопросы и задачи для самоконтроля

1. Выразите зависимость электрического заряда конденсатора от его емкости.
2. Назовите величины, определяющие значение электрической емкости плоского конденсатора.
3. Объясните, как влияет диэлектрическая проницаемость диэлектрика на емкость конденсатора.
4. Запишите, чему равна энергия электрического поля конденсатора, его плотность электрической энергии.
5. Запишите формулу для определения эквивалентной емкости последовательно соединенных конденсаторов.
6. Приведите формулу, по которой находят эквивалентную емкость параллельно соединенных конденсаторов.
7. Два электрода, разделенных диэлектриком, имеют равные по величине и противоположные по знаку электрические заряды

($q = 0,001$ Кл). Определите напряжение между электродами, если их электрическая емкость $C = 0,0005$ Ф. Ответ: 2 В.

8. Плоский воздушный конденсатор находится под напряжением 10 кВ. Расстояние между обкладками равно 0,5 см. Определите запас электрической прочности конденсатора, если электрическая прочность воздуха 30 кВ/см. Ответ: $K = 1,5$.

9. Между обкладками плоского воздушного конденсатора, имеющими площадь $S = 3600$ см² и напряжение $U = 2,4$ кВ, расстояние d составляет 0,5 см. Определите напряженность электрического поля и емкость конденсатора. Ответ: $E = 48 \cdot 10^4$ В/м; $C = 0,636 \cdot 10^{-9}$ Ф.