

Тема 19. Електроємність. Конденсатори. Енергія електростатичного поля.

Електроємність характеризує здатність провідників або системи з кількох провідників накопичувати електричний заряд, а отже, й електроенергію.

Провідник називається **відокремленим**, якщо він розташований на віддалі від інших заряджених і незаряджених тіл так, що вони не здійснюють на цей провідник жодного впливу.

Електроємність відокремленого провідника C – це скалярна фізична величина, яка характеризує здатність провідника накопичувати заряд і дорівнює відношенню значення q електричного заряду відокремленого провідника до його потенціалу φ :

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Одиниця електроємності в СИ – фарад (Ф). 1 Ф – це електроємність такого провідника, потенціал якого змінюється на 1 В, коли йому передають заряд 1 Кл: 1 Ф = 1 Кл/В.

1 Ф – дуже велика одиниця ємності, тому на практиці використовують мікрофаради – 1 мкФ = 10^{-6} Ф, нанофаради – 1 нФ = 10^{-9} Ф, пікофаради – 1 пкФ = 10^{-12} Ф.

Ємність системи заряджених тіл залежить від їх форми, взаємного розташування та від середовища, в якому вони знаходяться.

Якщо два тіла мають однакові за величиною та протилежні за знаком заряди, то ємність визначають як відношення модуля заряду одного з них до напруги між тілами:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Дві паралельні металеві поверхні, які мають однакові за величиною та протилежні за знаком заряди, відстань між якими набагато менша за їх розміри, утворюють систему, яку називають **електричним конденсатором**. Це найпростіший конденсатор – **плоский**, який складається з двох паралельних площин.

Ємність плоского конденсатора, простір між пластинами (обкладинками) якого заповнений діелектриком з проникністю ϵ , дорівнює:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

де S – площа однієї з пластин конденсатора, d – відстань між пластинами.

Одиниця електроємності конденсатора в СІ збігається з одиницею електроємності відокремленого провідника – **фарад**.

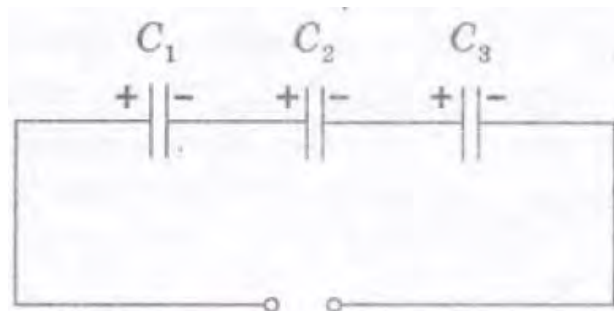
Конденсатори з'єднують у батареї конденсаторів послідовно і паралельно.

При **послідовному з'єднанні** N конденсаторів загальна (еквівалентна) ємність C визначається з формули:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_N}.$$

Загальна напруга на такій батареї дорівнює сумі напруг на окремих конденсаторах: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_N$.

Заряд на батареї послідовно з'єднаних конденсаторів дорівнює зарядам кожного з конденсаторів: $q = q_1 = q_2 = \dots = q_N$.



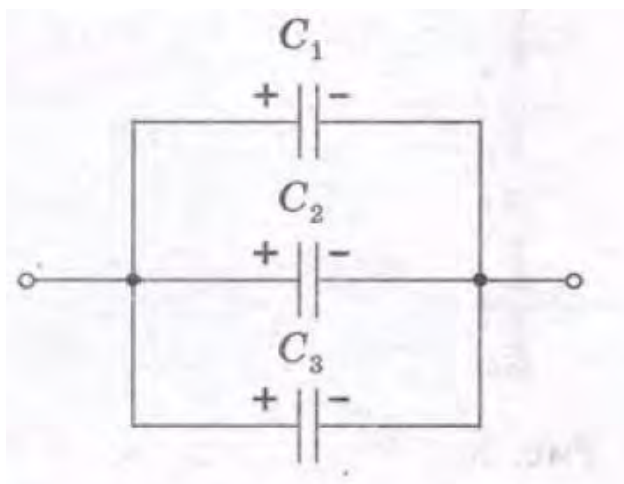
На рисунку показано послідовне з'єднання на прикладі трьох конденсаторів.

При **паралельному з'єднанні** N конденсаторів загальна (еквівалентна) ємність C дорівнює сумі ємностей окремих конденсаторів:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_N.$$

Напруга на всіх паралельно з'єднаних конденсаторах однакова і дорівнює загальній напрузі на батареї: $U = U_1 = U_2 = \dots = U_N$.

Заряд на батареї паралельно з'єднаних конденсаторів дорівнює сумі зарядів на окремих конденсаторах: $q = q_1 + q_2 + \dots + q_N$.



На рисунку показано паралельне з'єднання на прикладі трьох конденсаторів.

Енергія W зарядженого до напруги U конденсатора, який має електроємність C і заряд q , дорівнює:

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2}.$$

Цю енергію можна також назвати енергією електростатичного поля, яке існує між обкладками конденсатора.

Енергія одиниці об'єму електростатичного поля (об'ємна густина енергії) обчислюється за формулою:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2},$$

де V – об'єм, який займає поле, E – напруженість поля. Для плоского конденсатора $V = Sd$ – об'єм між пластинами конденсатора.

Отже, енергію електричного поля в об'ємі V можна знайти за формулою:

$$W = \omega V = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} V.$$



Приклад 1. Плоский демонстраційний повітряний конденсатор підключили до джерела сталої напруги. Як зміниться заряд конденсатора, якщо, не відключаючи його від джерела, зменшити відстань між пластинами удвічі?

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \quad C = \frac{q}{U}$$

Відповідь: збільшиться в 2 рази.

Приклад 2. Плоский демонстраційний повітряний конденсатор підключили до джерела сталої напруги. Як зміниться напруженість електричного поля конденсатора, якщо, не відключаючи його від джерела, заповнити простір між пластинами діелектриком із діелектричною проникністю 9?

Відповідь: не зміниться. Напруженість поля між обкладками конденсатора дорівнює $E = U/d$. Якщо не змінюються ні напруга, ні відстань між обкладками, напруженість також залишиться сталою.

Приклад 3. Два конденсатори однакової ємності з'єднали послідовно. Як зміниться ємність батареї конденсаторів, якщо їх з'єднати паралельно?

- 1) $1/C = 1/C_1 + 1/C_1 = 2/C_1, \quad C = C_1/2.$
- 2) $C = C_1 + C_1 = 2C_1.$

Відповідь: збільшиться в 4 рази.

Приклад 4. Два конденсатори ємністю 10 мкФ і 20 мкФ з'єднані послідовно. У скільки разів зміниться ємність батареї конденсаторів, якщо ці ж два конденсатори з'єднати паралельно?

$$1) \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{10^{-5}} + \frac{1}{(2 \cdot 10^{-5})} = \frac{3}{2} \cdot 10^5, \quad C = \frac{2}{3} \cdot 10^{-5}.$$

$$2) C_3 = C_1 + C_2 = 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 10^{-5}.$$

$$C_3/C = 3 / (2/3) = 9/2 = 4,5.$$

Відповідь: збільшиться у 4,5 рази.

Приклад 5. Напругу на обкладках конденсатора сталої ємності збільшують удвічі. Як зміниться енергія зарядженого конденсатора?

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

$$U_2 = 2U_1, \quad C_2 = C_1, \quad W_2 = 4W_1$$

Відповідь: зросте в 4 рази.

Приклад 6. Установіть відповідність між назвою фізичної величини та тим, що вона визначає.

1	Електричний заряд
2	Напруженість електричного поля
3	Потенціал електричного поля
4	Електроємність

А	Силу, з якою електричне поле діє на заряд
Б	Спроможність тіл проводити електрику
В	Спроможність тіл до електромагнітної взаємодії
Г	Спроможність тіл накопичувати електричний заряд
Д	Енергію, яку має заряд в електричному полі

Відповідь: 1 – В, 2 – А, 3 – Д, 4 – Г.

Приклад 7. Установіть відповідність між описом ситуації та назвою явища, яке при цьому спостерігається.

1	Внесення шматка слюди в електричне поле
2	Натирання ебонітової палички вовною
3	Наближення до металеві кулі наелектризованої ебонітової палички
4	Прискорення електронів між обкладками зарядженого конденсатора

А	Робота електричного поля з перенесення заряду
Б	Поляризація діелектрика
В	Електростатична індукція
Г	Розрядження конденсатора
Д	Електризація тертям

Відповідь: 1 – Б, 2 – Д, 3 – В, 4 – А.

Приклад 8. Установіть відповідність між формулами та величинами, які можна обчислити за цими формулами.

1	$k \frac{q_1 q_2}{r^2}$
2	$k \frac{q}{r^2}$
3	$\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$
4	$\frac{CU^2}{2}$

А	Напруженість електричного поля точкового заряду
Б	Ємність плоского конденсатора
В	Енергія зарядженого конденсатора
Г	Кулонівська сила взаємодії двох точкових зарядів
Д	Робота електричного поля з переміщення заряду

Відповідь: 1 – Г, 2 – А, 3 – Б, 4 – В.

Домашнє завдання:

основне: 3.42, 3.51, 3.52, 3.53, 3.55, 3.56, 3.58;

додаткове: 3.54, 3.60.