

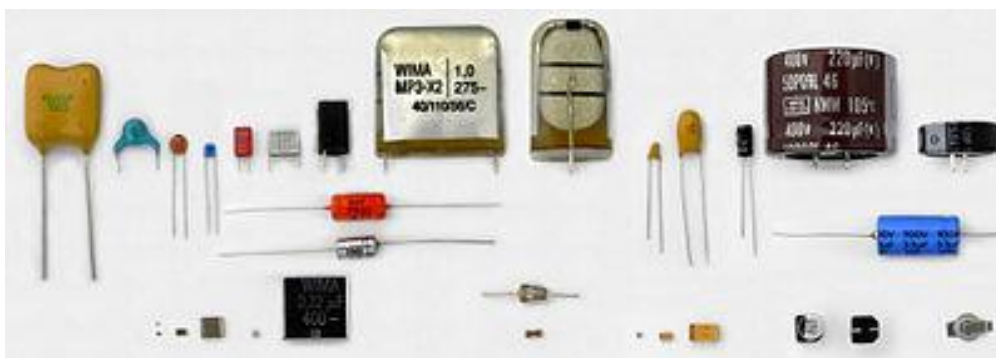
Тема уроку: З'єднання конденсаторів.

Мета уроку:

- навчальна –розібрати види конденсаторів та види їх з'єднання; встановити переваги та недоліки кожного типу з'єднання; навчити учнів розв'язувати стандартні задачі з даної теми;
- розвивальна – розвивати уяву, творчі здібності учнів, вдосконалювати вміння застосовувати набуті знання на практиці;
- виховна – виховувати почуття відповідальності, взаємодопомоги, вміння виступати перед аудиторією.

Матеріал до уроку

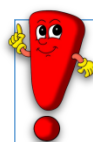
Види конденсаторів



Залежно від свого **призначення** конденсатори поділяються на конденсатори:



постійної ємності



змінної ємності



За **типом діелектрика** конденсатори поділяються на:

паперові

слюдяні

повітряні

електролітичні

керамічні



Електролітичні



Керамічні

За формою обкладинок конденсатори поділяються на:

плоскі

циліндричні

сферичні



Види з'єднання конденсаторів

Кожен конденсатор характеризується *ємністю* та *максимальною робочою напругою* U_{max} . Якщо напруга на конденсаторі значно перевищує U_{max} , то відбувається *пробій* - між обкладками конденсатора виникає іскра, яка руйнує ізоляцію.

Щоб одержати необхідну електроємність за певної робочої напруги, конденсатори з'єднують між собою в батареї, застосовуючи при цьому *паралельне*, *послідовне* та *змішане з'єднання*. Для простоти сприйняття розгляда-тимемо батарею, яка складається з трьох конденсаторів електроємностями C_1, C_2, C_3 відповідно. Зверніть, однак, увагу, що закономірності, які будуть одержані, справджуються й для батареї, що містить *будь-яку кількість конденсаторів*.

У разі паралельного з'єднання конденсаторів позитивно заряджені обкладки всіх конденсаторів з'єднують в один вузол, а негативно заряджені - в інший вузол. У такому випадку загальний заряд q батареї конденсаторів дорівнює алгебраїчній сумі зарядів окремих конденсаторів:

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

де q_1, q_2, q_3 - заряд першого, другого та третього конденсаторів відповідно.

З'єднані в один вузол обкладки являють собою один провідник, тому потенціали обкладок і різниця потенціалів (напруга) між обкладками всіх конденсаторів однакові:

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

Отже, у випадку паралельного з'єднання: конденсаторів допустима робоча напруга батареї визначається робочою напругою одного конденсатора.

Оскільки $q = CU$, $q_1 = C_1U$, $q_2 = C_2U$, $q_3 = C_3U$, то $CU = C_1U + C_2U + C_3U$

Отже, загальна електроємність батареї, яка складається з трьох паралельно з'єднаних конденсаторів, становить:

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

У разі послідовного з'єднання конденсатори з'єднують між собою різнойменно зарядженими обкладками. У цьому випадку потенціали різнойменно заряджених обкладок розміщених поряд конденсаторів є однаковими. Завдяки явищу електростатичної індукції також однаковим для всіх конденсаторів буде й заряд, який дорівнюватиме заряду батареї.

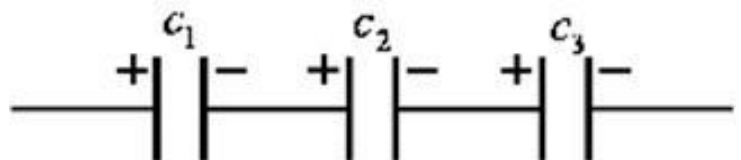
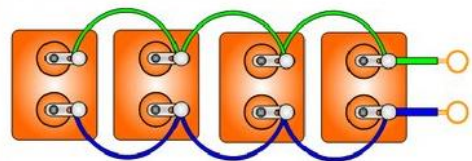
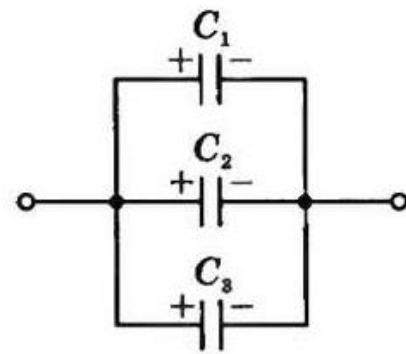
Отже:

$$q = q_1 = q_2 = q_3$$

Напруга на батареї послідовно з'єднаних конденсаторів дорівнює сумі напруг на окремих конденсаторах:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Оскільки $U = \frac{q}{C}$; $U_1 = \frac{q}{C_1}$; $U_2 = \frac{q}{C_2}$; $U_3 = \frac{q}{C_3}$, то $\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$ отже, величина, обернена загальній електроємності



батареї, що складається з трьох послідовно з'єднаних :конденсаторів, дорівнює:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

У разі послідовного з'єднання :конденсаторів ємність батареї менша. ніж ємність :конденсатора з мінімальною ємністю. Завдяки цьому збільшується допустима робоча напруга батареї порівняно з допустимою робочою напругою окремого конденсатора.

Наведені співвідношення можна узагальнити для батарей, які містять будь-яку кількість конденсаторів.

Зверніть увагу:

1) Якщо батарея містить n паралельно з'єднаних конденсаторів електроємністю C' кожен, то:

$$C = nC'$$

2) Якщо батарея містить n послідовно з'єднаних конденсаторів електроємністю C' кожен, то:

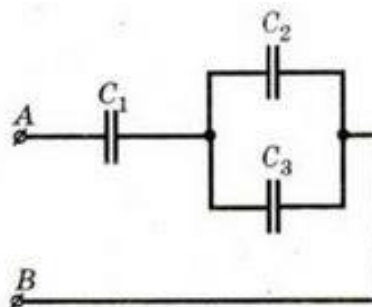
$$\frac{1}{C} = \frac{n}{C'} \quad \text{або} \quad C = \frac{C'}{n}$$

Закріплення нових знань і вмінь

Задача 1. Три конденсатори ємностями $C_1 = 0,2$ мкФ, $C_2 = C_3 = 0,4$ мкФ з'єднані між собою, як показано на малюнку, і приєднані до джерела постійного струму $U_{AB} = 250$ В. Визначити загальний електричний заряд, заряд і різницю потенціалів на кожному з конденсаторів.

Дано:	СІ
$U_{AB} = 250$ В	
$C_1 = 0,2$ мкФ	$0,2 \cdot 10^{-6}$ Ф
$C_2 = C_3 = 0,4$ мкФ	$0,4 \cdot 10^{-6}$ Ф
$q - ?$ $q_1 - ?$ $q_2 - ?$	
$q_3 - ?$ $U_1 - ?$ $U_2 - ?$ $U_3 - ?$	

Аналіз фізичної проблеми



Пошук математичної моделі

Загальний заряд визначимо за формулою $q = CU_{AB}$, де C - ємність батареї конденсаторів, яку визначимо з формули змішаного з'єднання,

$$C = \frac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3} = \frac{2C_1 C_2}{C_1 + 2C_2}$$

Заряд, накопичений батареєю:

$$q = \frac{2C_1 C_2}{C_1 + 2C_2} U_{AB}$$

Підставимо числові значення:

$$q = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6}} \cdot 250 = 4 \cdot 10^{-5} (\text{Кл})$$

Заряд першого конденсатора такий же, як і загальний заряд, $q_1 = q$, а заряди на двох інших конденсаторах $q_2 = q_3 = q/2$. Отже, заряди на окремих конденсаторах: $q_2 = q_3 = 2 \cdot 10^{-5} (\text{Кл})$.

Знаючи ємність і заряд кожного конденсатора, можемо визначити різницю потенціалів на їх обкладках.

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1}$$

$$U_1 = \frac{4 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 10^{-6}} = 200 (\text{В})$$

$$U_2 = U_3 = \frac{q_2}{C_2}$$

$$U_2 = U_3 = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{0,4 \cdot 10^{-6}} = 50 (\text{В})$$

Перевірка розмірності

$$[q] = \frac{\Phi \cdot \Phi}{\Phi + \Phi} \text{В} = \frac{\Phi^2}{\Phi} \text{В} = \Phi \cdot \text{В} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} \text{В} = \text{Кл}$$

$$[q_2] = [q_3] = \text{Кл}$$

$$[U_1] = [U_2] = [U_3] = \frac{\text{Кл}}{\Phi} = \text{В}$$

Відповідь: $q = 4 \cdot 10^{-5} \text{Кл}$; $q_2 = q_3 = 2 \cdot 10^{-5} \text{Кл}$; $U_1 = 200 \text{В}$; $U_2 = U_3 = 50 \text{В}$.

Домашнє завдання

Написати конспект. Опрацювати параграф §5 с.26-28, виконати впр.6,8 підручника 2.

Урок № 48

Тема уроку: Енергія електричного поля

Мета уроку:

- навчальна – ознайомити учнів з енергією, що запасена в електричному полі конденсатора;
- розвивальна – розвивати уяву, творчі здібності учнів, вдосконалювати вміння застосовувати набуті знання на практиці;
- виховна – виховувати почуття відповідальності, взаємодопомоги, вміння виступати перед аудиторією.

Матеріал до уроку

Енергія плоского конденсатора

Заряджений конденсатор, як і будь-яке заряджене тіло, має енергію. Обчислимо енергію зарядженого до напруги U плоского конденсатора, що має ємність C і заряд q .

Під час розрядження конденсатора напруга U на його обкладках змінюється прямо пропорційно заряду q конденсатора, оскільки електроємність C конденсатора ($C = q/U$) в цьому випадку не змінюється.

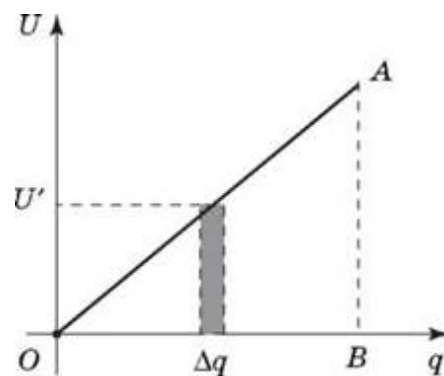
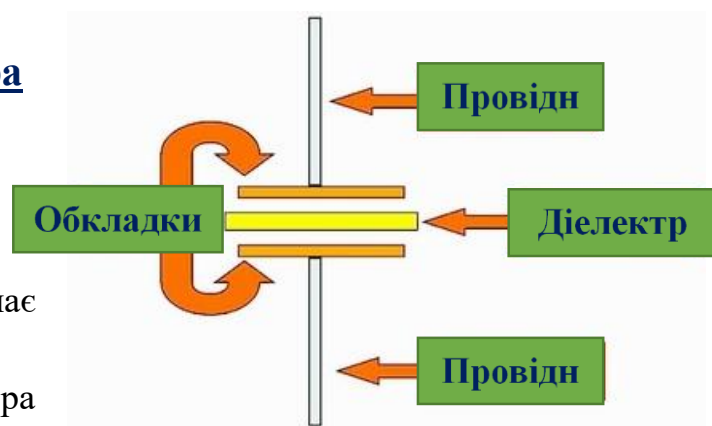
Графік залежності $U(q)$ має вигляд, показаний на рисунку. Подумки розділимо весь заряд конденсатора на маленькі «порції» Δq і будемо вважати, що під час втрати кожної такої «порції» заряду напруга на конденсаторі практично не змінюється. Таким чином, одержимо ряд смужок, кожна з яких відповідає зменшенню заряду конденсатора на Δq .

Площа кожної смужки, показаної на рисунку, дорівнює $\Delta q U'$, де U' — напруга, за якої конденсатор втратив дану «порцію» заряду Δq . Оскільки $A = qU$, то площа даної смужки чисельно дорівнює роботі, яку виконує поле в разі втрати конденсатором заряду Δq . Зрозуміло, що повну роботу, виконувану полем під час зміни заряду конденсатора від q до 0 , визначають площею фігури під графіком залежності $U(q)$, тобто площею трикутника AOB .

Отже, $A = qU/2$. З огляду на те, що $q = CU$, одержуємо:

$$A = \frac{CU^2}{2} \text{ або } A = \frac{q^2}{2C}$$

З іншого боку, робота, виконана під час розрядження конденсатора, дорівнює зміні енергії ΔW_n електричного поля:



$$A = -\Delta W_n = W_{n0} - 0 = W_{n0}$$

Отже,

$$W_{n0} = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

Таким чином, енергія W_n зарядженого до напруги U конденсатора, що має електроємність C і заряд q , дорівнює:

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

Об'ємна густина енергії електричного поля

Виразимо енергію електричного поля конденсатора через характеристику поля. Для цього виразимо напругу через напруженість ($U = Ed$) і скористаємося виразом для електроємності плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$$

Після підстановки наведених формул у формулу

$$W_n = \frac{CE^2 d^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SE^2 d^2}{2d} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V$$

Аналізуючи останню формулу, доходимо висновку, що енергія однорідного поля прямо пропорційна об'єму, який займає поле. У зв'язку із цим говорять про енергію одиниці об'єму поля, так звану **об'ємну густину енергії**:

$$\omega = \frac{W_n}{V}$$

$$\omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$

Одиниця об'ємної густини енергії в СІ — джоуль на кубічний метр (Дж/м³).

Закріплення нових знань і вмінь

Задача 1. Два конденсатори ємністю $C_1 = 4 \cdot 10^{-6}$ Ф і $C_2 = 3 \cdot 10^{-6}$ Ф зарядили зарядами $q_1 = 10^{-4}$ Кл і $q_2 = 10^{-5}$ Кл та з'єднали паралельно. Визначити, на скільки зміниться енергія системи конденсаторів.

Дано: $C_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ $C_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ $q_1 = 10^{-4} \text{ Кл}$ $q_2 = 10^{-5} \text{ Кл}$	СІ	<p style="text-align: center;"><i>Аналіз фізичної проблеми</i></p> Загальну енергію конденсаторів до з'єднання визначимо за формулою: $W = \frac{q^2}{2C}$ Конденсатори з'єднані паралельно, їх загальний заряд дорівнює сумі зарядів, загальна ємність також дорівнює сумі ємностей.
$\Delta W - ?$		

Пошук математичної моделі

Енергія, зосереджена у двох конденсаторах до з'єднання в батарею, становила:

$$W_1 = \frac{q_1^2}{2C_1} + \frac{q_2^2}{2C_2}$$

Після з'єднання заряд батареї конденсаторів $q = q_1 + q_2$ залежно від того, які обкладки з'єднуються - однойменні чи різнойменні. Ємність батареї $C = C_1 + C_2$.

Тоді енергія батареї конденсаторів:

$$W_2 = \frac{Q^2}{2(C_1 + C_2)} = \frac{(q_1 + q_2)^2}{2(C_1 + C_2)}$$

а зміна енергії: $\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{(q_1 + q_2)^2}{2(C_1 + C_2)} - \frac{q_1^2}{2C_1} - \frac{q_2^2}{2C_2}$

$$\Delta W = \frac{(10^{-4} + 10^{-5})^2}{2(4 \cdot 10^{-6} + 3 \cdot 10^{-6})} - \frac{(10^{-4})^2}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} - \frac{(10^{-5})^2}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-6}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ (Дж)}$$

Перевірка розмірності

$$[\Delta W] = \frac{(\text{Кл} + \text{Кл})^2}{\text{Ф} + \text{Ф}} - \frac{\text{Кл}^2}{\text{Ф}} - \frac{\text{Кл}^2}{\text{Ф}} = \frac{\text{Кл}^2}{\text{Ф}} = \frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{В}}{\text{Кл}} = \text{Кл} \cdot \text{В} = \text{Дж}$$

Відповідь: $4 \cdot 10^{-4}$ Дж.

Задача 2. Конденсатор 1 зарядили до різниці потенціалів 100 В, Відключили від джерела напруги 1 паралельно приєднали до конденсатора 2. Знайдіть енергію іскри, яка проскочила в момент з'єднання конденсаторів, якщо ємність конденсатора 1 дорівнює 0,5 мкФ, а конденсатора 2 - 0,4 мкФ.

Дано: $\Delta \varphi_1 = U_1 = 100 \text{ В}$ $C_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$ $C_2 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Ф}$	СІ	<p style="text-align: center;"><i>Аналіз фізичної проблеми</i></p> Заряджений конденсатор 1 має енергію. Після підключення до нього незарядженого конденсатора 2 одержана батарея матиме енергію, однак її значення буде меншим, ніж значення початкової енергії конденсатора 1. Визначивши зміну енергії системи конденсаторів, знайдемо шукану величину.
$\Delta W - ?$		

Пошук математичної моделі

Енергія зарядженого конденсатора 1 дорівнює:

$$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2}$$

Після приєднання конденсатора 2 енергія батареї становитиме

$$W_2 = \frac{CU^2}{2}$$

де – С ємність батареї конденсаторів, U - напруга на ній.

Ємність батареї, що складається з двох паралельно з'єднаних конденсаторів, визначається за формулою: $C = C_1 + C_2$

За умовою задачі конденсатор 1 був відключений від джерела напруги, тому $q_1 = q$, де q_1 і q - заряди конденсатора 1 і батареї відповідно. Тоді з урахуванням, що $q_1 = C_1 U_1$ і $q = CU$ маємо: $C_1 U_1 = CU$. Отже, $U = \frac{C_1 U_1}{C}$. Підставивши вирази для С і U

формулу для W_2 , отримуємо: $W_2 = \frac{C_1^2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)}$

Енергію іскри $\Delta W = W_1 - W_2 = \frac{C_1 C_2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)}$.

Визначимо енергію :

$$\Delta W = \frac{5 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot 10^2}{2(5 \cdot 10^{-7} + 4 \cdot 10^{-7})} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ (Дж)}.$$

Перевірка розмірності

$$[\Delta W] = \frac{\Phi \cdot \Phi \cdot \text{В}^2}{\Phi} = \Phi \cdot \text{В}^2 = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}^2}{\text{В}} = \frac{\text{Кл}}{\text{В}} = \text{Дж}$$

Відповідь: $1 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Оголошення домашнього завдання

Написати конспект, опрацювати с.28-29, виконати вправу №7 на с.30 підручника №2.

Зворотній зв'язок

- **Viber** 0662728430
- **E-mail** partitskiy.dmitro@kmerf.kiev.ua

!!!! у повідомленні з д/з не забуваємо вказувати прізвище, групу і дату уроку.