



§ 44. ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ. КОНДЕНСАТОРИ. ЕНЕРГІЯ ЗАРЯДЖЕНОГО КОНДЕНСАТОРА



Те, що гроші зберігають у банках, знає навіть першокласник. А от де зберігають заряди? І навіщо взагалі це потрібно? Відповіді ви знайдете в цьому параграфі.

1 Що таке електроємність

Електроємність характеризує здатність провідників або системи з кількох провідників накопичувати електричний заряд.

Розрізняють електроємність відокремленого провідника та електроємність системи провідників (наприклад, конденсатора). *Відокремленим* називають провідник, розташований на віддалі від інших тіл так, що вони не здійснюють на цей провідник жодного впливу.

Електроємність відокремленого провідника (C) — фізична величина, яка характеризує здатність провідника накопичувати заряд і дорівнює відношенню електричного заряду q відокремленого провідника до його потенціалу φ :

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

Одиниця електроємності в СІ — **фарад**: $[C] = 1 \text{ Ф}$ (названа на честь *М. Фарадея*). 1 Ф — це електроємність такого провідника, потенціал якого дорівнює 1 В , коли йому надають заряд 1 Кл ; $1 \text{ Ф} = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{В}} \left(1 \text{ Ф} = 1 \frac{\text{С}}{\text{В}} \right)$.

Оскільки 1 Ф — дуже велика одиниця ємності, зазвичай застосовують частинні одиниці: $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$; $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$; $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$.

2 Що таке конденсатор

Пристрій, що являє собою систему з двох провідних обкладок, розділених шаром діелектрика, товщина якого є малою порівняно з розмірами обкладок, називають **конденсатором** (рис. 44.1).

Обкладкам конденсатора передають однакові за модулем, але протилежні за знаком заряди, що сприяє накопиченню зарядів: різнойменні заряди притягуються, а отже, розташовуються на внутрішніх поверхнях обкладок.

Зазвичай для зарядження конденсатора обидві його обкладки з'єднують із полюсами батареї акумуляторів: на обкладках з'являються рівні за модулем, але протилежні за знаком заряди. Результат не зміниться, якщо з'єднати з полюсом батареї тільки одну обкладку, заземливши другу:

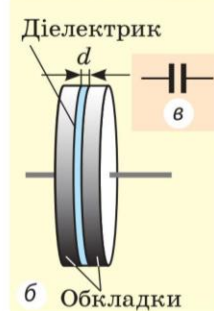


Рис. 44.1. Шкільний повітряний конденсатор: *а* — вигляд; *б* — будова; *в* — позначка на схемах

внаслідок електростатичної індукції на заземленій обкладці також з'явиться заряд, який дорівнюватиме за модулем заряду на іншій обкладці, але матиме протилежний знак.

Зарядом конденсатора називають модуль заряду однієї з його обкладок. Відношення заряду q даного конденсатора до різниці потенціалів $(\varphi_1 - \varphi_2)$ між його обкладками не залежить ані від q , ані від $(\varphi_1 - \varphi_2)$, а отже, може слугувати характеристикою конденсатора. Таку характеристику називають *електроємністю конденсатора*. Електроємність конденсатора визначається за формулами:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}, \text{ або } C = \frac{q}{U},$$

де U — напруга між обкладками, яка в даному випадку дорівнює різниці потенціалів між ними.

Як показують дослідження, ємність конденсатора збільшиться, якщо збільшити площу поверхні обкладок або наблизити обкладки одну до одної. На ємність конденсатора впливає також діелектрик: чим більша його діелектрична проникність, тим більшу ємність має конденсатор порівняно з ємністю такого самого конденсатора, діелектриком у якому слугує повітря.

Конденсатор, який складається з двох паралельних металевих пластин (обкладок), розділених шаром діелектрика, називають *плоским* (див. рис. 44.1). Електроємність плоского конденсатора обчислюють за формулою:

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

де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — електрична стала; ϵ — діелектрична проникність діелектрика; S — площа пластини конденсатора; d — відстань між пластинами.

Поле між пластинами плоского конденсатора є однорідним, тому зв'язок між напруженістю E поля між пластинами і напругою U на пластинах конденсатора подається як $U = Ed$.

3 Як розраховують електроємність батареї конденсаторів

Кожен конденсатор характеризується *ємністю* і *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 і змішане з'єднання*.

Для простоти сприйняття розглядатимемо батарею, яка складається з трьох конденсаторів електроємностями C_1, C_2, C_3 відповідно.

У разі *паралельного з'єднання конденсаторів* позитивно заряджені обкладки всіх конденсаторів з'єднують в один вузол, а негативно заряджені — в інший вузол (рис. 44.2). 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 і 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 (рис. 44.3). У цьому випадку заряди всіх конденсаторів будуть однаковими та дорівнюватимуть заряду батареї: $q = q_1 = q_2 = q_3$.

Напруга на батареї послідовно з'єднаних конденсаторів дорівнює сумі напруг на окремих конденсаторах: $U = U_1 + U_2 + U_3$.

Отже, допустима робоча напруга батареї послідовно з'єднаних конденсаторів більша за допустиму робочу напругу окремого конденсатора.

Ємність батареї послідовно з'єднаних конденсаторів можна обчислити, скориставшись формулою:

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

? Спробуйте отримати останню формулу самостійно.

У разі послідовного з'єднання конденсаторів ємність батареї менша, ніж ємність конденсатора з мінімальною ємністю.

Наведені співвідношення можна *узагальнити для будь-якої кількості конденсаторів*.

4 Чому дорівнює енергія плоского конденсатора

Заряджений конденсатор, як і будь-яка інша система заряджених тіл, має енергію. У правильності цього твердження можна переконатися за допомогою простого експерименту. Приєднаємо до обкладок зарядженого конденсатора лампочку кишенькового ліхтарика й виявимо, що в момент замикання ключа лампочка спалахує. Тепер виміряємо напругу на обкладках конденсатора — напруга дорівнюватиме нулю, отже, конденсатор розрядився. А це, у свою чергу, означає, що заряджений конденсатор мав енергію, яка частково перетворилася на енергію світла.

Обчислимо енергію зарядженого до напруги U_0 конденсатора ємністю C , на якому накопичений заряд q_0 . Цю енергію точніше було б назвати енергією електростатичного поля, яке існує між обкладками зарядженого

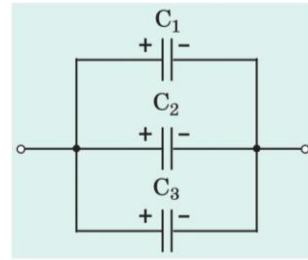


Рис. 44.2. Батарея з трьох паралельно з'єднаних конденсаторів

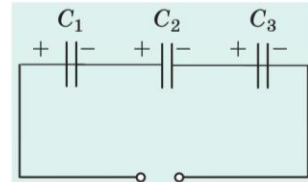


Рис. 44.3. Батарея з трьох послідовно з'єднаних конденсаторів

Зверніть увагу!

- Якщо батарея містить n паралельно з'єднаних конденсаторів електроємністю C' кожен:

$$C = nC'$$

- Якщо батарея містить n послідовно з'єднаних конденсаторів електроємністю C' кожен:

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

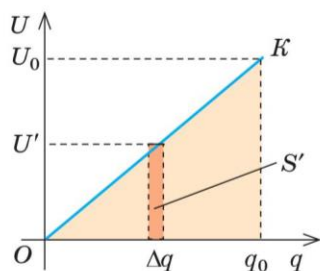


Рис. 44.4. До розрахунку роботи, яку виконує електричне поле зарядженого конденсатора під час його розрядження

Зрозуміло, що повна робота, яку виконає поле під час зменшення заряду конденсатора від q_0 до 0, визначається площею кольорового трикутника. Отже,

$$A = \frac{q_0 U_0}{2}. \text{ Урахувавши, що } q_0 = CU_0, \text{ отримаємо: } A = \frac{CU_0^2}{2}, \text{ або } A = \frac{q_0^2}{2C}.$$

З іншого боку, ця робота дорівнює зменшенню енергії електричного поля конденсатора від W_p до нуля: $A = W_p - 0 = W_p$.

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

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

конденсатора, оскільки енергія будь-яких заряджених тіл зосереджена в електричному полі, створюваному цими тілами.

Під час розрядження конденсатора напруга U на його обкладках змінюється прямо пропорційно заряду q конденсатора: $C = \frac{q}{U} \Rightarrow U = \frac{1}{C} q$, тому графік залежності $U(q)$ має вигляд, поданий на рис. 44.4.

Уявно розділимо увесь заряд конденсатора на маленькі «порції» Δq і будемо вважати, що під час втрати кожної такої «порції» напруга на конденсаторі не змінюється. Таким чином отримуємо ряд смужок. Площа S' кожної смужки дорівнює до-

бутку двох її сторін, тобто: $S' = \Delta q U' = A'$, де U' — напруга, за якої конденсатор утравчав дану «порцію» заряду Δq ; A' — робота, яку виконає поле під час втрати конденсатором заряду Δq .

Зрозуміло, що повна робота, яку виконає поле під час зменшення заряду конденсатора від q_0 до 0, визначається площею кольорового трикутника. Отже,

$$A = \frac{q_0 U_0}{2}. \text{ Урахувавши, що } q_0 = CU_0, \text{ отримаємо: } A = \frac{CU_0^2}{2}, \text{ або } A = \frac{q_0^2}{2C}.$$

З іншого боку, ця робота дорівнює зменшенню енергії електричного поля конденсатора від W_p до нуля: $A = W_p - 0 = W_p$.

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

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

5 Для чого потрібні конденсатори

У сучасній *техніці* складно знайти галузь, де широко й різноманітно не застосовувалися б конденсатори. Без них не можуть обійтися *радіотехнічна й телевізійна апаратура* (настроювання коливальних контурів), *радіолокаційна й лазерна техніка* (одержання потужних імпульсів), *телефонія й телеграфія* (розділення кіл змінного та постійного струмів, гасіння іскор у контактах), *техніка лічильного обладнання* (у спеціальних запам'ятовувальних пристроях), *електровимірвальна техніка* (створення зразків ємності). І це далеко не повний перелік.

У сучасній *електроенергетиці* конденсатори також мають доволі різноманітне застосування: вони обов'язково присутні в конструкціях люмінесцентних освітлювачів, електрозварювальних апаратів, пристроїв захисту від перенапруг. Конденсатори застосовують і в інших, не електротехнічних, галузях техніки та промисловості (у медицині, фотографічній техніці тощо).

Різнноманітність галузей застосування зумовлює велике розмаїття конденсаторів. Поряд із мініатюрними конденсаторами, що мають масу меншу,

ніж грам, а розміри порядку кількох міліметрів, існують конденсатори ма-
сою кілька тонн і заввишки більші за людський зріст. Ємність сучасних
конденсаторів може становити від часток пікофарада до сотень міліфара-
дів, а робоча напруга може бути в межах від кількох вольтів до кількох
сотень кіловольтів. Конденсатори можна класифікувати за такими ознаками
та властивостями:

- за призначенням — незмінної та змінної ємності;
- за формою обкладок — плоскі, сферичні, циліндричні та ін.;
- за типом діелектрика — повітряні, паперові, слюдяні, керамічні, електролітичні та ін.



Підбиваємо підсумки

- Електроємність C відокремленого провідника дорівнює відношенню електричного заряду q провідника до його потенціалу ϕ : $C = \frac{q}{\phi}$. Одиниця електроємності в СІ — фарад (Ф).

Електроємність конденсатора, який має заряд q і напругу між обклад-
ками U , дорівнює: $C = \frac{q}{U}$. Електроємність плоского конденсатора обчислю-
ють за формулою $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$.

Для одержання необхідної ємності конденсатори з'єднують в батареї.

Фізична величина	Вид з'єднання конденсаторів	
	послідовне	паралельне
Заряд	$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$	$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$
Напруга	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Ємність	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$	$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

- Енергію зарядженого конденсатора можна обчислити за формулами:

$$W_p = \frac{CU^2}{2}; \quad W_p = \frac{q^2}{2C}; \quad W_p = \frac{qU}{2}.$$

- Конденсатори класифікують за призначенням (незмінної та змінної ємностей); за формою обкладок (плоскі, сферичні, циліндричні); за типом діелектрика (повітряні, паперові, слюдяні, керамічні, електролітичні).



Контрольні запитання

1. Що називають електроємністю відокремленого провідника? Якою є її одиниця?
2. Що таке конденсатор? Для чого він призначений?
3. Для чого простір між обкладками конденсатора заповнюють діелектриком?
4. Від чого залежить електроємність конденсатора?
5. За якою формулою розраховують електроємність плоского конденсатора?
6. Як обчислити електроємність батареї, яка складається з конденсаторів, з'єднаних послідовно? з'єднаних паралельно?
7. За допомогою яких формул розраховують енергію зарядженого конденсатора?
8. Назвіть галузі застосування конденсаторів. Наведіть приклади.
9. Які типи конденсаторів вам відомі?