

Лекція 12. ЕЛЕКТРИЧНА ЄМНІСТЬ СИСТЕМИ. РОЗРАХУНКИ ЄМНОСТІ В ПРОСТІШИХ ВИПАДКАХ. КОНДЕНСАТОРИ. БАТАРЕЇ КОНДЕНСАТОРІВ.

Для опису електростатичного поля потрібно математично розв'язати ланцюжок наступних питань.

За відомим зарядом в системі за теоремою Гауса необхідно розрахувати напруженість електричного поля (взяти «важкий, страшний» інтеграл по поверхні). Щоб експериментально перевірити знайдену картину поля необхідно перерахувати напруженість поля в його потенціал (це передбачає виконання операції інтегрального перетворення відповідно до формул попередньої лекції).

Ці інтегральні завдання дуже складні в математичному відношенні і в загальному випадку вони просто не можуть бути здійсненими аналітично. А картину поля знати треба !!!

Завдання спрощують математично, ускладнюючи фізичні уявлення про способи розрахунків полів. Для цього вводять в розгляд поняття електричної ємності системи.

Ланцюжок міркувань наступний:

Дійсно, згідно із законом Кулона напруженість поля пропорційна величині заряду в системі (див. закон Кулона). Взаємозв'язок потенціалу і напруженості поля хоч і інтегральна, але то ж лінійна.

Тоді можна записати, що і сам потенціал в системі пропорційний заряду в ній.

$$Q \approx E \approx \varphi$$

або

$$Q = C\varphi$$

де C - коефіцієнт пропорційності між напругою і напруженістю поля в системі.

Звертаємо увагу, що з аналізу випадає необхідність розрахунку напруженості поля, тобто рішення інтегрального виразу теореми Гауса.

Величину C називають електроємність (або просто ємністю) системи.

Відповідно до формули, ємність системи визначається зарядом, поява якого змінює потенціал на одиницю.

Ємність системи залежить тільки від її розмірів, форми і властивостей діелектрика в якому поширюється поле і не залежить від заряду та напруги в системі.

ЗАП'ЯМЯТАТИ – Це принципово важливо та буде доведено далі.

Одиниця електроємності - фарад (Ф): 1 Ф - ємність такої системи, потенціал якого змінюється на 1 В при наданні йому заряду 1 Кл.

Для знаходження параметра C необхідно хоча б один раз пройти ланцюжок опису електричного поля за наступною схемою.

Тобто подумки дати в систему заряд, розрахувати в ній електричне поле, перерахувати напруженість поля в його потенціал і знайти коефіцієнт пропорційності між зарядом і потенціалом поля в системі.

Завдання не просте математично. Але воно виконується один раз і знайдені формули для ємності системи переносять в довідкову літературу і користуються в інженерних розрахунках. Тому використання поняття ємності - це спрощення, тому що інтеграли взяли теоретики, а інженери користуються вже виведеними формулами.

Пройдемо такий ланцюжок викладок для найпростіших випадків і знайдемо формули для обчислення ємностей найпростіших систем.

Ємність відокремленої кулі (елемент сферичного конденсатору).

Відповідно теоремі Гауса напруженість електричного поля, створеного кулею така ж, як і картина поля від точкового заряду, тобто розраховується за формулою (див перші лекції теорії поля, практично закон Кулона):

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad (r \geq R).$$

Згідно за інтегральною формулою перерахунку напруженості поля в його потенціал, потенціал відокремленої кулі радіусом R , що знаходиться в однорідному середовищі з діелектричної проникністю ϵ , дорівнює

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{\epsilon R}.$$

Використовуючи формулу для визначення поняття електричної ємності ($C = Q/\varphi$ отримаємо, що ємність кулі

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$$

Звідси випливає, що ємність 1 Ф мала би відокремлена куля, що знаходиться в вакуумі та має радіус $R = 10 \cdot 10^6$ км, що приблизно в 1400 разів більше радіуса Землі (електроємність самої Землі $C = 0,7$ мФ).

Отже, Фарад - дуже велика величина, тому на практиці використовуються частинні її одиниці - міліфарад (мФ), мікрофарад (мкФ), нанофарада (нФ), пікофарада (пФ). Необхідно так само указати, що з формул

для ємності системі впливає також, що одиниця виміру електричної постійної ϵ_0 - фарад на метр (Ф / м).

Електроємність системи, що створена двома нескінченними пластинами (плоский конденсатор) .

Розрахуємо ємність плоского конденсатора, що складається з двох паралельних металевих пластин площею S кожна, розташованих на відстані d одна від одної. Вони мають заряди $+Q$ і $-Q$. Якщо відстань між пластинами мала в порівнянні з їх лінійними розмірами, то крайовими ефектами можна знехтувати і поле між обкладинками конденсатора вважати однорідним. Його можна розрахувати, використовуючи формули представлені в лекції про теорему Гауса.

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$

де σ - поверхнева густина заряду на площині.

Використовуючи інтегральний взаємозв'язок між напруженістю поля та його потенціалом і при наявності діелектрика між обкладинками для різниці потенціалів між ними, можна отримати:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma d}{\epsilon_0 \epsilon},$$

де ϵ - діелектрична проникність. Тоді з останньої формули, замінюючи $Q = Q = S \cdot \sigma$, за основним виразом для ємності, отримуємо формулу для ємності плоского конденсатора:

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

З отриманих формул для ємності кулі і плоского конденсатора видно, що цей параметр системи залежить тільки від геометрії системи (чи від радіусу кулі або від площі та відстані між пластинами) та від діелектричної проникності середовища, в якій поширюється поле.

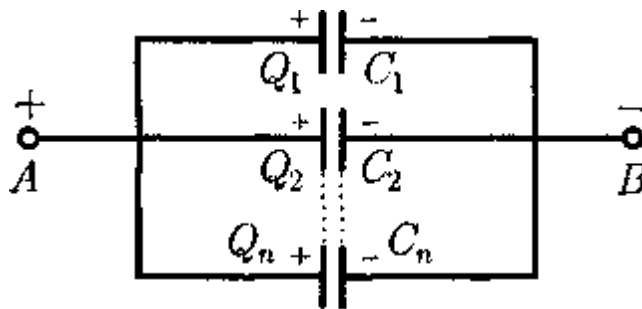
І НЕ ВІД ЧОГО БІЛЬШЕ.

КОНДЕНСАТОРИ

Щоб система мала велику електроємність, вона повинна мати дуже великі розміри (див. отримані формули). На практиці, однак необхідні пристрої, що володіють здатністю при малих розмірах і невеликих відносно навколишніх тіл потенціалах накопичувати значні за величиною заряди, іншими словами, мати велику ємність. Ці пристрої мають назву конденсаторів.

Для збільшення ємності та варіювання її можливих значень конденсатори з'єднують в батареї, при цьому використовується їх паралельне і послідовне з'єднання. Це є практичною частиною завдання, але з фізичної точки зору, не менш важлива і задача розподілу заряду та напруг між конденсаторами, що з'єднано чи паралельно, чи послідовно. Це є науковою причиною, що задає необхідність розглянути питання розрахунків ємності конденсаторних батарей.

1. Параллельное соединение конденсаторов (рис.).



У паралельно з'єднаних конденсаторів різниця потенціалів на обкладках конденсаторів однакова і дорівнює $\varphi_A - \varphi_B$. Якщо ємності окремих конденсаторів C_1, C_2, \dots, C_n , то, згідно з загальною формулою для ємності, їх заряди дорівнюють:

$$Q_1 = C_1(\varphi_A - \varphi_B),$$

$$Q_2 = C_2(\varphi_A - \varphi_B),$$

.....

$$Q_n = C_n(\varphi_A - \varphi_B),$$

Відповідно до закону збереження заряду заряд батареї конденсаторів:

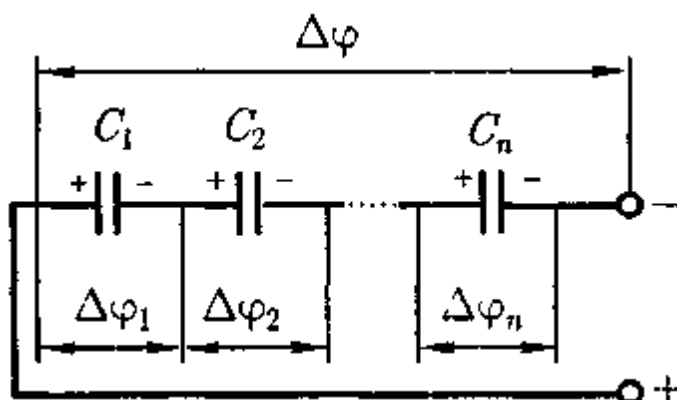
$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = (C_1 + C_2 + \dots + C_n)(\varphi_A - \varphi_B).$$

Якщо на кожному конденсаторі напруга така ж сама, то повна ємність батареї при паралельному з'єднанні конденсаторів буде дорівнювати

$$C = \frac{Q}{\varphi_A - \varphi_B} = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i,$$

Тобто при паралельному з'єднанні конденсаторів вона дорівнює сумі ємностей окремих конденсаторів. Пам'ятайте, при паралельному з'єднанні конденсаторів напруга на кожному конденсаторі однакова, а загальний заряд системи є сума зарядів кожного конденсатора.

2. Послідовне з'єднання конденсаторів (рис.).



У послідовно з'єднаних конденсаторів заряди усіх обкладок рівні по модулю, а різниця потенціалів на затискачах батареї (довести це ствердження з використанням закону збереження заряду, та відомими властивостями для розрахунків роботи декількох сил в системі).

$$\Delta\varphi = \sum_{i=1}^n \Delta\varphi_i,$$

де для будь-якого з розглянутих конденсаторів

$$\Delta\varphi_i = \frac{Q}{C_i}.$$

З іншого боку

$$\Delta\varphi = \frac{Q}{C} = Q \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i},$$

тому

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i},$$

Таким чином, при послідовному з'єднанні конденсаторів підсумовуються величини, зворотні до ємностей. При послідовному з'єднанні конденсаторів результуюча ємність C завжди менше найменшої ємності, що використовується в батареї (довести) .

Основним положенням електростатики присвячено відповідні розділи завдання в пропонованому методичному посібнику.

Детально теоретичний матеріал за темою електростатичні поля наведено в рекомендованій літературі (Трофімова).

ПАМ'ЯТАЙТЕ: Останні розділи теорії поля досить складні в математичному відношенні. Якщо в цих математичних викладках у вас виникнуть труднощі, то **Всі наявні труднощі** розберемо при особистих зустрічах.

ЗАУВАЖЕННЯ: На освітньому порталі вказано мій старий E-mail.

Мій дійсний E-mail : **moskvinpavel56@gmail.com**

Маю можливість відповідати на ваші питання через E-mail канал зв'язку.