

Змістовий модуль 1. Електричне поле.

Тема №1. Електричне поле.

План лекції.

1. Предмет електротехніки.
2. Провідники й діелектрики.
3. Електричне поле.
4. Потенціал. Напруга.
5. Ємність. Конденсатори і їх з'єднання.

1. Предмет електротехніки.

Електротехніка - галузь науки й техніки, яка вивчає електричні і магнітні явища та їх використання з практичною метою.

Можна виділити три основні напрямки електротехніки:

- 1) перетворення різних видів енергії природи в електричну енергію і навпаки;
- 2) перетворення одних речовин природи в інші;
- 3) одержання й передача інформації.

Науково-технічний прогрес неможливий без електрифікації всіх галузей народного господарства. Потреби народного господарства в електричній енергії безупинно ростуть, що приводить до збільшення її виробництва.

Електронікою називають галузь науки, техніки та виробництва, у якій розробляються принципи виробництва та удосконалення електронних приладів, методи їх інженерного розрахунку та технологічного забезпечення.

Велике значення електротехніки у всіх областях діяльності людини пояснюється **перевагами** електричної енергії перед іншими видами енергії, а саме:

- електричну енергію легко перетворити в інші види енергії (механічну, теплову, світлову, хімічну й ін.), і навпаки, в електричну енергію легко перетворюються будь-які інші види енергії;
- електричну енергію можна передавати практично на будь-які відстані. Це дає можливість будувати електростанції в місцях, де є природні енергетичні ресурси, і передавати електричну енергію в місця, де розташовані джерела промислової сировини, але немає місцевої енергетичної бази;
- електричну енергію зручно дробити на будь-які частини в електричних колах (потужність приймачів електроенергії може бути від часток вата до тисяч кіловатів);

- процеси одержання, передачі й споживання електроенергії легко піддаються автоматизації;
- процеси, у яких використовується електрична енергія, допускають просте керування (натискання кнопки, вимикача і т.д.).

Особливо слід зазначити зручність застосування електричної енергії при автоматизації виробничих процесів, завдяки точності й чутливості електричних методів контролю й керування. Використання електричної енергії дозволило підвищити продуктивність праці у всіх областях діяльності людини, автоматизувати майже всі технологічні процеси в промисловості і в тому числі - будівництві, на транспорті, у сільському господарстві й побуті, а також створити комфорт у виробничих і житлових приміщеннях. У цей час електрична енергія є практично єдиним видом енергії для штучного освітлення. Можна сказати, що без електричної енергії неможливе нормальне життя сучасного суспільства.

Єдиним *недоліком* електричної енергії є неможливість запасати її в великих кількостях і зберігати ці запаси протягом тривалого часу. Запаси електричної енергії в акумуляторах, гальванічних елементах і конденсаторах достатні лише для роботи порівняно малопотужних пристроїв, причому строки її збереження обмежені. Тому електрична енергія повинна бути вироблена тоді, коли її вимагає споживач, і в тій кількості, у якій вона йому необхідна.

2. Провідники й діелектрики.

Усі речовини, як прості, так і складні, складаються з молекул, а молекули з атомів.

Хімічний елемент - сукупність однакових атомів. Прості речовини - мідь, алюміній, цинк, свинець і інші — складаються з однакових атомів даного речовини. Молекули складних речовин можуть складатися з декількох атомів різних хімічних елементів. Наприклад, поварена сіль (хлористий натрій) складається з атомів хлору й натрію. Молекули води містять атоми водню й кисню.

Атом складається із протонів, нейтронів і електронів. Протони й нейтрони згруповані в центрі атома й утворюють ядро. Протони заряджені позитивно, а нейтрони не мають електричного заряду. Електрони заряджені негативно і розташовані на оболонках на різних відстанях від ядра.

Атоми різних елементів відрізняються друг від друга. Кількість протонів у ядрі атома називається атомним номером елемента, тобто номером елемента в періодичній таблиці Д.І. Менделєєва. Атомні номери дозволяють відрізнити один елемент від іншого.

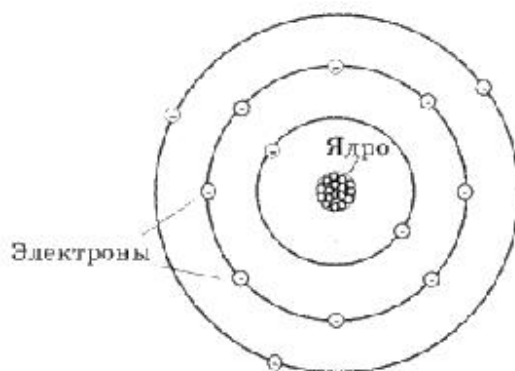
Кожний елемент має атомну масу, яка визначається загальним числом протонів і нейтронів у ядрі. Електрони майже не дають внеску в загальну масу атома.

Електрони обертаються навколо ядра по замкнених орбітах. Кожна орбіта називається оболонкою. Оболонки позначаються буквами К, L, M, N і т.д. і заповнюються поступово, у міру збільшення атомного номера елемента. Максимальна кількість електронів, яка може розміститися на кожній оболонці, показано в табл. 1.

Таблиця 1

Позначення оболонок	Загальна кількість електронів
К	2
L	8
M	18
N	32

Як приклад розглянемо будову атома алюмінію, що має номер 13 у таблиці Менделєєва й атомну масу 27 (мал. 1).



Мал. 1. Будова атома алюмінію

Ядро атома алюмінію містить 13 протонів і 14 нейтронів ($13 + 14 = 27$). Тринадцять електронів атома алюмінію розміщені на трьох електронних оболонках: К- 2 електрона, L- 8 і на найбільш вилученій від ядра зовнішній оболонці М- 3 електрони.

Зовнішня оболонка називається **валентною**, а кількість електронів, яка вона містить, - **валентністю**. Чим далі від ядра валентна оболонка, тем менше притягання з боку ядра випробовує кожний валентний електрон. Таким чином, потенційна можливість атома приєднувати або втрачати електрони збільшується, якщо валентна оболонка не заповнена й розташована досить далеко від ядра.

Електрони валентної оболонки можуть одержувати енергію. Якщо ці електрони одержать досить енергії від зовнішніх сил, то вони можуть покинути

атом і стати вільними електронами, довільно переміщаючись від атома до атома.

Матеріали, які містять велику кількість вільних носіїв заряду, називаються **провідниками**. Провідниками є всі метали, розчини електролітів, розплави багатьох речовин і іонізовані гази. Найвищу провідність серед металів має срібло; далі в порядку убутання провідності йдуть мідь, золото й алюміній. І срібло, і мідь, і золото мають валентність, рівну одиниці. Однак срібло є кращим провідником, оскільки його вільні електрони більш слабко зв'язані.

Діелектрики (ізолятори) на противагу провідникам перешкоджають протіканню електрики. У діелектриках вільні електрони відсутні завдяки тому, що валентні електрони одних атомів приєднуються до інших атомів, заповнюючи їх валентні оболонки й перешкоджаючи в такий спосіб утворенню вільних електронів. Діелектриками є різні пластмаси, слюда, порцеляна, скло, мармур, гума, смоли, лаки й інші матеріали.

Проміжне положення між провідниками й ізоляторами займають **напівпровідники**, які не є ні гарними провідниками, ні гарними ізоляторами, але відіграють важливу роль в електроніці, тому що їх провідність можна змінювати від провідника до ізолятора. Кремній і германій є напівпровідниковими матеріалами.

Про атом, який має однакове число електронів і протонів, говорять, що він електрично нейтральний. Атом, що одержав один або більш електронів, не є електрично нейтральним. Він стає негативно зарядженим і називається **негативним іоном**. Якщо атом втрачає один або більш електронів, він стає позитивно зарядженим і називається **позитивним іоном**. Процес приєднання або втрати електронів називається **іонізацією**. Іонізація відіграє велику роль у протіканні електричного струму.

3. Електричне поле.

У природі існують тільки два види електричних зарядів - позитивні й негативні. Заряди одного знака (однойменні) відштовхуються, різних знаків (різнойменні) притягуються. Найменший (елементарний) заряд мають елементарні частки. Елементарний негативний заряд по величині рівний елементарному позитивному заряду. У системі СІ заряд вимірюється в кулонах (Кл). Величина елементарного заряду

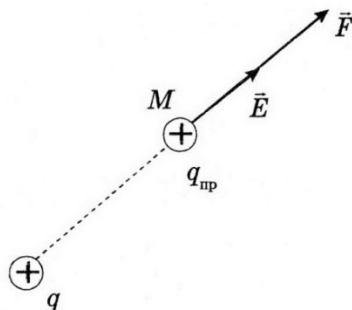
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Взаємодія між зарядами на відстані здійснюється через **електричне поле**.

Електричне поле - одна з форм матерії - має властивість діяти на внесені в нього заряди з деякої силою. Електричне поле є складовою частиною

електромагнітного поля. Поле, що оточує нерухливі заряди, називається електростатичним.

Заряд, за допомогою якого досліджують це електричне поле, називають *пробним*. Нехай заряд q створює електричне поле. Будемо поміщати в точку M електричного поля різні пробні заряди $q_{пр}$ (мал. 2).



Мал. 2. Дія електричного поля на пробний заряд

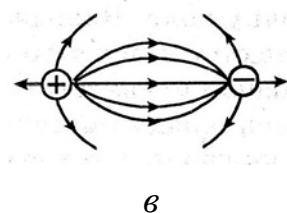
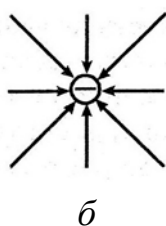
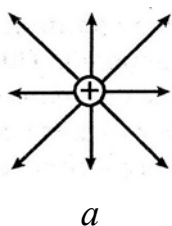
На кожний з них електричне поле діє з різними силами. Але якщо величину кожної сили розділити на відповідний їй пробний заряд, то одержимо те саме значення, характерне для точки M цього поля. Таким чином, *величина, рівна силі, що діє на одиничний пробний заряд у точці M , може служити силовою характеристикою електричного поля*. Вона називається *напруженістю електричного поля*:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}} \quad (1)$$

Напруженість електричного поля - векторна величина. Напрямок вектора \vec{E} збігається з напрямком вектора сили \vec{F} , що діє на позитивний пробний заряд, поміщений у дану точку поля. У системі СІ напруженість електричного поля вимірюється у *вольтах на метр* (В/м).

Графічно електричне поле зображують силовими лініями, які починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних або йдуть у нескінченність.

На мал. 3 зображені лінії напруженості полів позитивного (а), негативного (б) і системи з позитивного й негативного зарядів (в).



4. Потенціал. Напряга.

Різні заряди в точці з координатою x мають різну потенційну енергію. Однак відношення значення потенційної енергії до величини відповідного заряду є величина постійна, рівна *величині потенційної енергії одиничного заряду, що перебуває в даній точці поля*. Ця величина називається **потенціалом поля** в даній точці:

$$\varphi = \frac{W_{\Pi}}{q}. \quad (2)$$

Потенціал не залежить від величини заряду q , внесеного в дану точку поля, а визначається властивостями самого поля.

Згідно із законом збереження енергії робота переміщення заряду q в електростатичнім полі дорівнює зміні його потенційної енергії, узятій зі знаком « - ». Зв'язане це з тим, що при здійсненні полем позитивної роботи потенційна енергія зменшується, а негативної - збільшується:

$$A = -\Delta W_{\Pi} = -(W_{\Pi 2} - W_{\Pi 1}). \quad (3)$$

де $W_{\Pi 1}$ й $W_{\Pi 2}$ - потенційні енергії заряду q в точках 1 і 2.

Перенесемо заряд q із точки поля з потенціалом φ_1 у точку з потенціалом φ_2 . З (2) і (3) випливає, що

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W_{\Pi 1}}{q} - \frac{W_{\Pi 2}}{q} = \frac{W_{\Pi 1} - W_{\Pi 2}}{q} = \frac{-(W_{\Pi 2} - W_{\Pi 1})}{q} = \frac{A}{q}. \quad (4)$$

Величина $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ називається **різницею потенціалів**, або **напрягою**. Якщо $\varphi_2 = 0$ (друга точка вилучена в нескінченність), то

$$\varphi_1 = \frac{A}{q}. \quad (5)$$

Потенціал - величина, чисельно рівна роботі поля по переміщенню одиничного заряду з даної точки в нескінченність. Фізичний зміст має не сам потенціал, а різниця потенціалів. Зв'язане це з тим, що потенціал будь-якої точки поля може бути прийнятий за нульовий.

Напруга й потенціал у системі СІ вимірюються у вольтах (В). Якщо при переміщенні заряду завбільшки 1 Кл між двома точками кола виконується робота в 1 Дж, то напруга між цими точками дорівнює 1 В. Для виміру малих напруг використовують мілівольти (мВ): $1 \text{ мВ} = 10^{-3} \text{ В}$ і мікровольти: $1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}$, а для більших напруг - кіловольти (кВ): $1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}$.

Приведемо напруги, які зустрічаються на практиці. Напруга, яка дає гальванічний елемент (батарейка), рівно 1,5 В; автомобільний акумулятор дає напруга близько 12 В; напруга міської освітлювальної мережі - 220 В; між контактним проводом і рейкою трамвая - 600 В; у міських кабельних електричних розподільних ланцюгах - 6 або 11 кВ; між проводами довгих ліній електропередачі - від 35 до 1000 кВ.

5. Електроємність. Конденсатори. З'єднання конденсаторів.

Передаючи тілу певний заряд, ми змінюємо його потенціал. Ця зміна безпосередньо пов'язана зі значенням заряду, що передається тілу. Дослідним шляхом установлене, що потенціал зростає пропорційно зростанню заряду: $\varphi \sim q$, причому для тіл різних розмірів коефіцієнт пропорційності різний.

Установлене, що цей коефіцієнт для кожного тіла має цілком певне значення, що відбиває здатність тіла накопичувати електричний заряд.

Скалярна величина, рівна відношенню електричного заряду, що передається тілу, до його потенціалу, називається електроємністю тіла.

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (6)$$

Ємність визначається геометричними розмірами провідника, його формою й властивостями навколишнього середовища (її діелектричною проникністю ε) і не залежить від матеріалу провідника. За одиницю ємності в системі СІ приймають ємність такого провідника, потенціал якого змінюється на 1 В при передачі заряду в 1 Кл. Ця одиниця ємності називається фарад (Ф). $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$. 1 Ф - дуже велика ємність. На практиці використовують мікрофаради ($1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$), нанофаради ($1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$) і пікофаради ($1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$).

Щоб експериментально визначити ємність провідника, як і його потенціал, потрібно створити умови, що виключають вплив усіх навколишніх

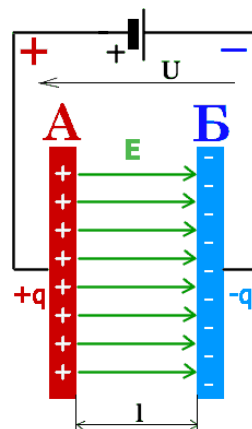
тіл, які, впливаючи на тіло, змінюють його потенціал і ємність. На практиці застосовують систему із двох або більш провідників довільної форми, розділених діелектриком. У цьому випадку електричні властивості такої системи провідників і діелектрика не залежать від навколишніх тіл.

Таку систему називають **конденсатором**. Найпростішим є конденсатор із двох металевих пластин, розділених діелектриком (мал. 4).

Електроємність конденсатора, на відміну від відособленого тіла, визначається по різниці потенціалів між пластинами:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U}. \quad (7)$$

Електричне поле зарядженого конденсатора зосереджене практично повністю між обкладками (усередині) конденсатора. Лінії вектора напруженості поля \vec{E} починаються на одній обкладці й закінчуються на іншій. Заряди на обкладках однакові по величині й протилежні за знаком.



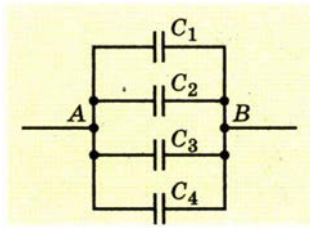
Мал. 4. Конденсатор: принцип дії

У випадку плоского конденсатора його ємність

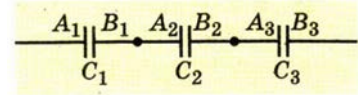
$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \quad (8)$$

де S - площа обкладки;
 d - відстань між обкладками (пластинами).

При необхідності збільшити ємність конденсатори з'єднують між собою паралельно (мал. 5). При паралельнім з'єднанні конденсаторів усе обкладки з'єднуються у дві групи, у кожену з яких входить по одній обкладці кожного конденсатора.



Мал.5. Паралельне з'єднання конденсаторів



Мал.6. Послідовне з'єднання конденсаторів

При такім з'єднанні кожна група обкладинок має однаковий потенціал.

Якщо батарею паралельно з'єднаних конденсаторів зарядити, то між обкладинками кожного конденсатора буде однакова різниця потенціалів $\Delta\varphi = U$. Загальний заряд батареї буде дорівнює сумі зарядів кожного з конденсаторів, що входять у батарею:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n. \quad (9)$$

Якщо врахувати, що $Q = C\Delta\varphi = CU$, то

$$CU = C_1U + C_2U + \dots + C_nU,$$

або, розділивши обидві частини рівності на U , одержимо:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (10)$$

Загальна ємність батареї конденсаторів, з'єднаних паралельно, дорівнює сумі ємностей окремих конденсаторів.

При необхідності зменшити ємність конденсатори з'єднують послідовно (мал. 6). Загальна напруга на всіх конденсаторах дорівнює U , а напруга на кожному конденсаторі відповідно буде рівною U_1 , U_2 , U_3 і т.д. Отже, загальна напруга

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots. \quad (11)$$

З визначення ємності (7) випливає, що $U_1 = \frac{q}{C_1}$, $U_2 = \frac{q}{C_2}$, $U_3 = \frac{q}{C_3}$.

Підставляючи ці вираження у формулу (11) і розділивши обидві частини рівності на q , одержимо:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad (12)$$



Мал. 7. Конденсатори

Питання для самоконтролю

1. Що вивчає електротехніка і яка її роль у сучаснім житті?
2. Які особливості надають електричній енергії переваги перед іншими видами енергії? Який її основний недолік?
3. Чим відрізняється атом від молекули, проста речовина від складної?
4. Як улаштований атом? По яких орбітах обертаються електрони?
5. Яка атомна частка має позитивний заряд і більшу масу? Яка атомна частка має негативний заряд і маленьку масу? Яка атомна частка не має заряду?
6. Що означають атомна маса й атомний номер елемента?
7. Що розуміють під валентністю елемента, валентною оболонкою, валентними електронами?
8. Чому через провідники може протікати електричний струм, а через діелектрики – ні? Наведіть приклади провідників і діелектриків. Що таке напівпровідник?
9. Що таке іонізація? Як утворюються позитивні й негативні іони?
10. Що таке напруженість електричного поля?
11. Як графічно зображують електричне поле?
12. Що таке потенціал, різниця потенціалів? У яких одиницях вони вимірюються?
13. Чому рівна ємність відокремленого провідника? У яких одиницях вимірюється ємність?

14. Як улаштований конденсатор?
15. По якій формулі обчислюється ємність плоского конденсатора?
16. Як потрібно з'єднати конденсатори, щоб їх загальна ємність збільшилася? Поменшала?
17. Як обчислити загальну ємність конденсаторів при паралельнім з'єднанні?
18. Як обчислити загальну ємність конденсаторів при послідовнім з'єднанні?

Список літератури

1. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. техникумов. – М.: Высш. шк., 2005. – Глава 1 (§§ 1.1 – 1.8, с. 8 – 28).
2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие. – 15-е изд., стереотипное – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – вступ, §§1.1 - 1.5 (с. 3 - 28).
3. Славинский А.К., Туревский И.С. Электротехника с основами электроники: учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – вступ, глава 1 (с. 3 – 27).