Державний комітет зв’зку та інформатизації
Київський коледж зв’язку

ФІЗИКА
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ЗАОЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ ВСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Київ
ККЗ-2003

Фізика. Методичні вказівки та завдання до контрольної роботи для студентів заочного відділення всіх спеціальностей. – К.: НТЛ ККЗ, 2003. – 50 с.

Укладач: **Головко М.В., к.пед.н.**

Рецензент: **Мухін О.М., к.т.н.**

Рекомендовано до друку методичною радою Київського коледжу зв’язку.

Методичні вказівки призначенні для студентів заочного відділення. Містять приклади розв’язування задач з основних тем курсу фізики, що вивчається на заочному відділенні, та задачі для самостійного розв’язування.

ВСТУП

Домашня контрольна робота з фізики є важливим видом навчальної діяльності студентів заочного відділення. Вона передбачає як опрацювання теоретичного матеріалу основних тем курсу відповідно до навчальної програми з фізики для заочного відділення, так і розв'язування фізичних задач.

Контрольна робота виконується у тонкому зошити в клітинку або на стандартних аркушах білого паперу формату А-4. Особливості вибору варіантів завдань та термін виконання контрольної роботи визначаються заочним відділенням. Кожен варіант містить 12 задач з основних тем розділу "Електричні та магнітні явища" (відповідно, 1.1, 1.2, 1.3 і тд., де перша цифра у нумерації задачі – номер завдання, а друга – номер варіанту).

Структура роботи: титульний аркуш, номер варіанту, номер задачі, повна умова задачі, скорочена умова задачі, розв'язок, відповідь, список використаної літератури. Задачі виконуються у довільному порядку і оформлюються відповідно до вимог щодо розвязування фізичних задач. Зразок оформлення наведено у методичних вказівках. Розв'язуючи задачу потрібно використовувати одиниці Міжнародної системи (СІ), робити малюнки та детальні пояснення і розрахунки, аналіз отриманих результатів.

Список рекомендованої літератури для виконання домашньої роботи:

1. Головко М.В. Електрика та магнетизм. Посібник для самостійної роботи з фізики.- К.: НТЛ ККЗ, 2002.

2. Елементарний підручник фізики. Т. III: Коливання, хвилі, оптика, будова атома /За ред. акад. Г.С.Ландсберга.– К.: Радянська школа, 1968.– 520 с.

3. Загальний курс фізики: У 3 т.: Навч. пос. /За ред. І.М.Кучерука. Т. 2: Електрика і магнетизм.– К.: Техніка, 2001.– 452 с.

4. Загальна фізика: Збірн. задач: Навч. посібн. /За заг. Ред. І.Т.Горбачука.- К., 1993.

ОСНОВНІ ФОРМУЛИ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

Електричне поле в вакуумі. Різниця потенціалів. Точкові заряди q_1, q_2, які знаходяться на відстані r один від одного відповідно до ***закону Кулона*** взаємодіють із силою:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} \qquad \textbf{(1)},$$

де ε - відносна діелектрична проникність середовища, яка показує у скільки разів сила взаємодії точкових електричних зарядів у вакуумі більша, ніж у даному середовищі (для повітря ε =1), $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} [Ф / м]$ - електрична стала (діелектрична проникність вакууму).

Напруженість електричного поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ ,або } E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q}{r^2} \qquad \textbf{(2)}.$$

Напруженість результуючого поля системи точкових зарядів у деякій точці можна знайти за принципом суперпозиції, відповідно до якого результуюча напруженість дорівнює векторній сумі напруженостей полів, створених кожним із зарядів:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + ... + \vec{E}_n \text{, або } \vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i \qquad \textbf{(3)}.$$

Теорема Остроградського-Гауса для точкових зарядів (потік вектора напруженості електричного поля через замкнену поверхню дорівнює алгебраїчній сумі зарядів, охоплених цією поверхнею, поділеній на електричну сталу):

$$Ф_E = \oint_S E_n dS = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\varepsilon_0} \qquad \textbf{(4)}.$$

Напруженість електричного поля, що створюється рівномірно зарядженою нескінченно довгою ниткою:

$$E = \frac{\tau}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot a} \qquad \textbf{(5)},$$

де τ - лінійна густина заряду, a – відстань від нитки до точки, у якій визначається напруженість поля.

Напруженість електричного поля, що створюється рівномірно зарядженою нескінченою площиною:

$$E = \frac{\sigma}{2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \qquad \textbf{(6)},$$

де σ - поверхнева густина заряду.

Напруженість електричного поля, що створюється різнойменно зарядженими паралельними нескінченими площинами (плоским конденсатором):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \qquad \textbf{(7)}.$$

Напруженість електричного поля, що створюється нескінченно довгим рівномірно зарядженим циліндром за межами поверхні:

$$E = \frac{\tau}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r} \qquad \textbf{(8)},$$

де τ - лінійна густина заряду на бічній поверхні, *r* – відстань від осі циліндра до даної точки, причому *r* > R – радіус основи циліндра.

Напруженість електричного поля рівномірно зарядженої по поверхні (об'єму) кулі за межами зарядженої поверхні *(r > R* – радіус кулі:

$$E = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon} \cdot \frac{q}{r^2} \qquad \textbf{(9)},$$

де $q = \frac{4}{3}\pi \cdot R^3 \cdot \rho$, якщо заряд розподілений по об'єму, або $q = 4\pi \cdot R^2 \cdot \sigma$, якщо заряд розподілений по поверхні.

Робота сил електростатичного поля точкового заряду q по переміщенню в ньому точкового заряду q_0 з точки 1 в точку 2:

$$A = \frac{q \cdot q_0}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \qquad \textbf{(10)}.$$

Робота сил електростатичного поля по замкнутому контуру:

$$A = q_0 \oint_L \vec{E} d\bar{l} = 0 \qquad \textbf{(11)},$$

де лінійний інтеграл виду $\oint_L \vec{E} d\bar{l}$ - циркуляція вектора $\vec{E}$.

Потенціалом електричного поля точкового заряду:

$$\varphi = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r} \qquad \textbf{(12)}.$$

Для однорідного поля різниця потенціалів дорівнює напрузі між точками поля:

$$\varphi_1 - \varphi_2 == U \text{ та } E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d} \qquad \textbf{(13).}$$

Зв'язок напруженості та потенціалу:

$$\vec{E} = -grad\varphi \qquad \textbf{(14)},$$

де $grad\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x}\bar{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\bar{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\bar{k}$ - градієнт потенціалу.

Діелектрики в електричному полі. Ємність. Вектор поляризації діелектрика пропорційний напруженості електричного поля:

$$\vec{P} = \chi \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E} \qquad \textbf{(15)},$$

де χ - діелектрична сприйнятливість діелектрика.

Вектор електричного зміщення (електричної індукції):

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \cdot \vec{E} \qquad \textbf{(16)}.$$

Теорема Остроградського-Гауса для діелектриків (потік вектора електричної індукції через замкнену поверхню дорівнює алгебраїчній сумі охоплених нею вільних зарядів:

$$\int_S D_n dS = \sum_i q_i \qquad \textbf{(17).}$$

Електрична ємність конденсатора:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U} \qquad \textbf{(18)},$$

де q - заряд однієї з обкладок, а U - напруга між обкладками.

Ємність плоского конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d} \qquad \textbf{(19)},$$

де S – площа пластини конденсатора, а d – відстань між пластинами.

Ємність циліндричного конденсатора:

$$C = \frac{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot h}{\ln\frac{r_2}{r_1}} \qquad \textbf{(20)},$$

де h – висота циліндричних обкладок, r_1 - радіус внутрішньої обкладки, r_2 – радіус зовнішньої обкладки.

Ємність сферичного конденсатора:

$$C = \frac{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \cdot r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \qquad \textbf{(21)},$$

де r_1 - радіус внутрішньої сферичної обкладки, r_2 - радіус зовнішньої обкладки.

Ємність паралельного з’єднання n конденсаторів:

$$C_{пар} = C_1 + C_2 + \ldots + C_n = \sum_{i-1}^{n} C_i \qquad \textbf{(22)}.$$

Ємність послідовного з’єднання *n* конденсаторів:

$$\frac{1}{C_{пос}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i-1}^{n} \frac{1}{C_i} \qquad \textbf{(23)}.$$

Енергія електричного поля. Енергія взаємодії точкових зарядів:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} q_i \cdot \varphi_i \qquad \textbf{(24)}.$$

Енергія електричного поля (енергія зарядженого конденсатора):

$$W = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q^2}{2 \cdot C} \qquad \textbf{(25)}.$$

Об’ємна густина енергії електричного поля (енергія на одиницю обєму):

$$\varpi = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2}{2} = \frac{1}{2} \vec{E}\ \vec{D} \qquad \textbf{(26)}.$$

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Два точкові заряди q_1= -14,7 нКл і q_2 = 7,5 нКл розміщені на відстані с = 5 см. Знайти напруженість Е електричного поля у точці, що знаходиться на відстанях а = 3 см від позитивного та b = 4 см від негативного.

Дано:

$q_1 = -14{,}7 \cdot 10^{-9}$ Кл
$q_2 = 7{,}5 \cdot 10^{-9}$ Кл
а = 3 см = $3 \cdot 10^{-2}$ м
b = 4 см = $4 \cdot 10^{-2}$ м
с = 5 см = $5 \cdot 10^{-2}$ м

Е-?

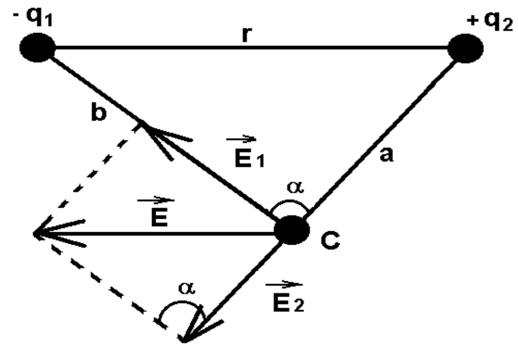


Рис. 1.

Розв’язок.

Зробимо малюнок і позначимо точку С, в якій потрібно знайти напруженість результуючого поля (рис.1).

Напруженість результуючого поля визначається за принципом суперпозиції (формула 3) як геометрична сума напруженостей полів, створених зарядами q_1 і q_2: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

За теоремою косинусів:

$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1 \cdot E_2 \cos\alpha}$, де α - кут між $E_1\, ma E_2$, який дорівнює куту між a і b Δq_1Cq_2.

Оскільки $\cos\alpha = \dfrac{a^2 + b^2 - c^2}{2a \cdot b} = \dfrac{3^2 + 4^2 - 5^2}{2 \cdot 3 \cdot 4} = 0$ (дійсно, $\angle\alpha = 90°$, бо Δq_1Cq_2 - прямокутний, для нього $5^2 = 3^2 + 4^2$), то $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$.

Тоді з урахуванням формули (2):

$$E = \sqrt{\frac{q_1^2}{16\pi^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot b^4} + \frac{q_2^2}{16\pi^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot a^4}} =$$

$$= \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot \sqrt{\frac{q_1^2}{b^4} + \frac{q_2^2}{a^4}}.$$

Підставивши в дану формулу значення фізичних величин (врахуємо, що $\varepsilon = 1$), отримаємо:

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{216{,}09 \cdot 10^{-18}}{256 \cdot 10^{-8}} + \frac{56{,}25 \cdot 10^{-18}}{81 \cdot 10^{-8}}} =$$

$$= 9 \cdot 10^9 \sqrt{0{,}85 \cdot 10^{-10} + 0{,}7 \cdot 10^{-10}} =$$

$$= 9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-5} \sqrt{1{,}54} = 9 \cdot 1{,}24 \cdot 10^4 = 112 \cdot 10^3$$ В/м = 12 кВ/м.

Відповідь: ***Е*****=112 кВ/м.**

Задача 2. Дві кульки масами $m_1 = m_2 = 0{,}2$ г підвішені на тонких шовкових нитках довжиною $l = 0{,}5$ м кожна таким чином, що їх поверхні торкаються одна одної. Кульки зарядили однаковими за величиною електричними зарядами і вони відштовхнулися одна від одної та розійшлися на відстань $r = 5$ см (відстань між центрами кульок).

Визначити величину заряду кожної кульки, враховуючи, що вони знаходяться у повітрі.

Дано:

$m_1 = m_2 = 2\cdot 10^{-4}$ кг

$l = 0{,}5$ м

$r = 5\cdot 10^{-2}$ м

$\varepsilon = 1$

---

q_1, q_2 - ?

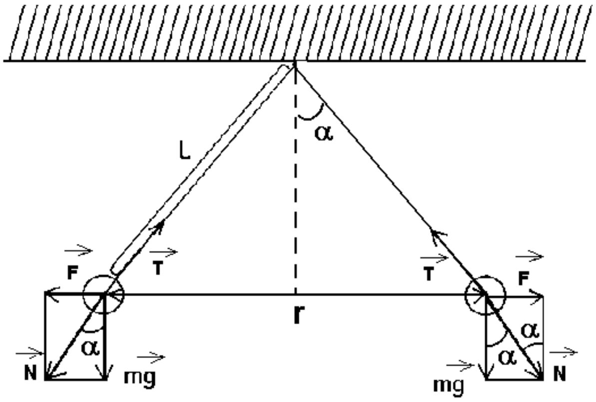


Рис. 2.

Розв'язок.

На кожну з двох кульок діє с … сила відштовхування $\vec{F}$ (рис.2).

Рівнодіюча цих сил $\vec{N}$ (вона зрівноважується силою натягу нитки $\vec{T}$) визначається як діагональ паралелограма, сторонами якого є вектори сил тяжіння та кулонівського відштовхування.

Розглянемо одну з кульок (для іншої можна провести аналогічні міркування). У прямокутному трикутнику з катетами mg, F та гіпотенузою N кут між mg та N дорівнює α. Тоді можна записати, що $tg\alpha = \frac{F}{m\cdot g}$, а $sin\alpha = \frac{r}{2\cdot l}$.

Оскільки кут α, на який розійшлися кульки, достатньо малий, щоб використати співвідношення $sin\alpha \approx tg\alpha$, то $F = \frac{m\cdot r\cdot g}{2\cdot l}$.

З іншого боку, за законом Кулона $F = \frac{q_1\cdot q_2}{4\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot r^2}$, а враховуючи, що

$q_1 = q_2$, $F = \frac{q^2}{4\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot r^2}$.

Отже $\frac{m\cdot r\cdot g}{2\cdot l} = \frac{q^2}{4\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot r^2}$. Знайдемо звідси q :

$$q = r\cdot\sqrt{\frac{2\cdot\pi\cdot m\cdot g\cdot r\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}{l}}.$$

Підставивши у кінцеву формулу значення фізичних величин відповідно до умови та виконавши обчислення, отримаємо:

$$q_1 = q_2 = 5\cdot 10^{-2}\cdot\sqrt{\frac{2\cdot 3{,}14\cdot 2\cdot 10^{-4}\cdot 9{,}8\cdot 5\cdot 10^{-2}\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}\cdot 1}{0{,}5}} \approx 5{,}2\cdot 10^{-9}\ \text{Кл} \approx 5{,}2\ \text{нКл}.$$

***Відповідь:* $q_1 = q_2 =$ 5,2 нКл.**

Задача 3. Знайти лінійну густину заряду τ на нескінченно довгій зарядженій нитці, якщо для переміщення до неї точкового заряду q_0 = 0,5 нКл з відстані r_1 = 10 см на відстань r_2 = 5 см силами поля виконується робота A = 10 мкДж.

Дано:

$q_0 = 5\cdot 10^{-10}$ Кл
$r_1 = 10^{-1}$ м
$r_2 = 5\cdot 10^{-2}$ м
$A = 10^{-5}$ Дж
τ - ?

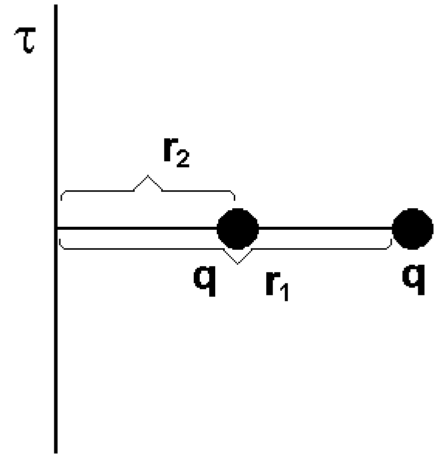


Рис. 3.

Розв'язок.

Елементарна робота з переміщення точкового заряду з відстані r_1 до r_2 (рис.3) дорівнює: $dA = qdU$.

Оскільки $dU = - Edr$, то $dA = - qEdr$, де E – напруженість електричного поля, що створюється нескінченно довгою зарядженою ниткою. Тоді:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot r}.$$

Отже, $dA = - q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot r}\,dr$, а повна робота:

$$A = -\int_{r_1}^{r_2} q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot r}\,dr.$$

Винесемо константи за знак інтегралу:

$$A = -q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}\cdot\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r}.$$

Виконавши інтегрування, отримаємо:

$$A = -\,q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}\cdot\ \ln r\,\Big|_{r_1}^{r_2}$$

Тоді :

$$A = -\,q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}\cdot(\ln r_2 - \ln r_1) =$$

$$= q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon\cdot}\cdot(\ln r_1 - \ln r_2) = q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}\cdot\ln\frac{r_1}{r_2}\,.$$

Із рівності $A = q\cdot\frac{\tau}{2\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}\cdot\ln\frac{r_1}{r_2}$ визначимо τ:

$$\tau = \frac{2\pi\cdot A\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon}{q\cdot\ln\frac{r_1}{r_2}}\,.$$

Підставимо значення фізичних величин і отримаємо:

$$\tau = \frac{2\cdot 3{,}14\cdot 10^{-5}\cdot 1\cdot 8{,}85\cdot 10^{-12}}{5\cdot 10^{-10}\ln\frac{10^{-1}}{5\cdot 10^{-2}}} = 15{,}9\cdot 10^{-7}\,Кл/м = 1{,}6\cdot 10^{-6}\,Кл/м = 1{,}6\,мкКл/м$$

***Відповідь:* τ = 1,6 мкКл/м.**

Задача 4. Ємність батареї конденсаторів, зображеної на малюнку (рис.4) не змінюється при замикані ключа К. Визначити величину ємності C_x, якщо C = 1 мкФ.

Дано:

C = 1 мкФ
C_x - ?

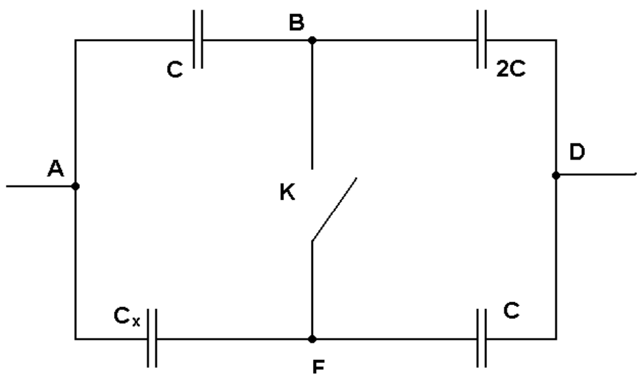


Рис.4.

Розв'язок.

Розглянемо коло (рис.4). Якщо замкнути ключ К, то загальну ємність батареї конденсаторів $C_{Б1}$ можна визначити як ємність двох послідовно з'єднаних ділянок, кожна з яких складається з двох паралельно з'єднаних між собою конденсаторів.

Використавши формули (22, 23), визначимо ємність батареї конденсаторів:

$$\frac{1}{C_{Б1}} = \frac{1}{C+2C} + \frac{1}{C_x + C} = \frac{1}{3C} + \frac{1}{C_x + C} = \frac{3C + C + C_x}{3C(C_x + C)} = \frac{4C + C_x}{3C(C_x + C)}.$$

Таким чином, загальна ємність батареї конденсаторів дорівнює:

$$C_{Б1} = \frac{3C(C_x + C)}{4C + C_x}.$$

Якщо ключ К розімкнути, то загальну ємність батареї конденсаторів $C_{Б2}$ можна знайти як ємність двох паралельно під'єднаних ділянок, кожна з яких складається з двох послідовно з'єднаних конденсаторів:

$$C_{Б2} = \frac{1}{\frac{1}{C} + \frac{1}{C_x}} + \frac{1}{\frac{1}{2C} + \frac{1}{C}} = \frac{C_x \cdot C}{C + C_x} + \frac{2}{3}C.$$

Оскільки $C_{Б1} = C_{Б2}$ (за умовою задачі ємність батареї не змінюється при замиканні ключа К), то можна записати:

$$\frac{3C(C_x + C)}{4C + C_x} = \frac{C_x \cdot C}{C + C_x} + \frac{2}{3}C.$$

З отриманої рівності визначимо C_x. Перенесемо всі доданки вліво і зведемо до спільного знаменника. Отримаємо:

$$\frac{4C \cdot C_x^2 - 4C^2 \cdot C_x + C^3}{3(4C + C_x)(C + C_x)} = 0.$$

Розв'яжемо рівняння відносно C_X. Прирівняємо чисельник до 0. Тоді:

$$4C \cdot C_x^2 - 4C^2 \cdot C_x + C^3 = 0.$$

Поділимо ліву і праву частини рівняння на *C*. Отримаємо:

$$4C_x^2 - 4C \cdot C_x + C^2 = 0.$$

Розв’язавши квадратне рівняння, отримаємо: $C_x = \frac{1}{2}C$ і C_x =0,5 мкФ.

***Відповідь:* C_X = 0,5 мкФ.**

Постійний електричний струм

Сила струму:

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad \textbf{(27)}.$$

Густина електричного струму - вектор $\vec{j}$, напрям якого збігається з напрямом струму, а величина визначається величиною струму, що проходить через одиничну поверхню, перпендикулярну до напряму струму:

$$j = \frac{dI}{dS} \qquad \textbf{(28)}.$$

Закон Ома для однорідної ділянки кола:

$$I = \frac{U}{R} \qquad \textbf{(29)}.$$

Опір однорідного провідника:

$$R = \rho \frac{l}{S} \qquad \textbf{(30)},$$

де ρ - питомий опір провідника, l - довжина, а S – площа поперечного перерізу провідника.

Залежність питомого опору однорідного провідника від температури:

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t^\circ) \qquad \textbf{(31)},$$

де α - температурний коефіцієнт опору, ρ_0 - питомий опір провідника при температурі 0 ° С.

Питома провідністю:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad \textbf{(32)}.$$

Закон Ома в диференціальній формі:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \qquad \textbf{(33)}.$$

Робота сторонніх сил по переміщенню одиниці заряду по замкненому колу (електрорушійна сила джерела струму - ЕРС):

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} = \oint \vec{E}_{ст} d\vec{l} \qquad \textbf{(34)}.$$

Закон Ома для повного кола:

$$I = \frac{\varepsilon}{(R = r)} \qquad \textbf{(35)}.$$

Робота *A* постійного електричного струму на зовнішній ділянці кола:

$$A = I \cdot U \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t \qquad \textbf{(36)}.$$

Потужність постійного електричного струму:

$$P = \frac{A}{\tau} = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R} \qquad \textbf{(37)}.$$

Загальна потужність повного електричного кола:

$$P = \varepsilon \cdot I = \varepsilon^2 / (R + r) \qquad \textbf{(38)}.$$

Коефіцієнт корисної дії джерела струму (ККД):

$$\eta = \frac{P_К}{P_З} = \frac{R}{R + r} \qquad \textbf{(39)}.$$

Закон ***Джоуля-Ленца***:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} t \qquad \textbf{(40)}.$$

Характеристики електричного кола з послідовно з'єднаними опорами:

- сила струму: $I = I_1 = I_2 = ... = I_n$;
- спад напруги на ділянці кола: $U = U_1 + U_2 + ... + U_n$;
- загальний опір електричного кола:

$$R = R_1 + R_2 + ... + R_n \qquad \textbf{(41)}.$$

Характеристики електричного кола з паралельно з'єднаними опорами:
- сила струму: $I = I_1 + I_2 + ... + I_n$;
- спад напруги на ділянці кола: $U = U_1 = U_2 = ... = U_n$;
- загальний опір електричного кола:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n} \qquad \textbf{(42)}.$$

Правила Кірхгофа для розрахунку розгалуджених електричних кіл:

1) алгебраїчна сума всіх струмів, що сходяться у вузлі розгалуженого кола, дорівнює нулю (сума струмів, що входять у вузол, дорівнює сумі струмів, що виходять з вузла), причому струми, що входять до вузла вважають додатними (записують із знаком "+"), а струми, що виходять – від'ємними (записують із знаком "-"):

$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0 \qquad \textbf{(43)}.$$

2) для простого замкненого контуру, довільно вибраного у розгалуженому електричному колі, алгебраїчна сума добутків сил струмів на опори відповідних ділянок (сума спадів напруг) дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС у цьому контурі:

$$\sum_{k=1}^{n} I_k \cdot R_k = \sum_{i=1}^{m} \mathcal{E}_i \qquad \textbf{(44)}.$$

Приклади розв'язування задач

Задача 5. Визначити загальний опір *R* з'єднання провідників, що має форму куба з ребрами опором *r* = 1 Ом. Джерело постійної напруги під'єднано до протилежних вершин куба *A* та *J*.

Дано:

r = 1 Ом

R - ?

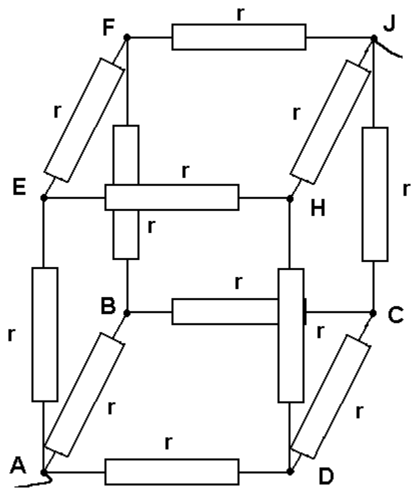


Рис. 5.

Розв'язок.

Визначаючи опір електричних кіл (рис.5), не вдається розглядати їх як послідовні або паралельні з'єднання провідників і безпосередньо застосовувати формули (41) та (42).

Проте такі схеми є симетричними і мають точки з однаковими потенціалами, які можна роз’єднувати, або з’єднувати між собою. Розглянемо куб ABCDEFJH (рис.5). Точки B, D, E мають однаковий потенціал φ_1. Точки C, F, H теж мають однаковий потенціал φ_2. Тому вершини B, D, E можна об’єднати в один вузол, наприклад, **K**, а вершини C, F, H - у вузол **L**.

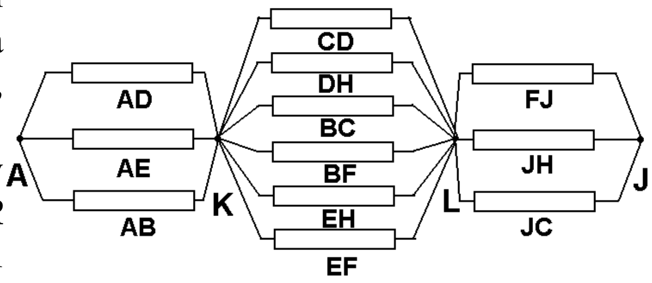


Рис. 6.

При цьому розподіл струмів у колі не зміниться, а загальний опір R кола залишиться тим самим. Тоді задану схему можна замінити еквівалентною (рис.6), загальний опір якої дорівнює загальному опору початкової схеми і визначається за правилами послідовного та паралельного з’єднань провідників.

Тобто, $\boldsymbol{R} = \boldsymbol{R_{AJ}} = \boldsymbol{R_{AK}} + \boldsymbol{R_{KL}} + \boldsymbol{R_{LJ}}$, де $\boldsymbol{R_{AK}}$, $\boldsymbol{R_{KL}}$, $\boldsymbol{R_{LJ}}$ опори паралельних з’єднань провідників.

Тому $\frac{1}{R_{AK}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{3}{r}$, а $\boldsymbol{R_{AK}} = \frac{r}{3}$.

Аналогічно, $\frac{1}{R_{KL}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{6}{r}$ і $\boldsymbol{R_{KL}} = \frac{r}{6}$ та

$\frac{1}{R_{LJ}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r} = \frac{3}{r}$ і $\boldsymbol{R_{LJ}} = \frac{r}{3}$.

Загальний опір з’єднання провідників дорівнює:

$$R = R_{AK} + R_{KL} + R_{LJ} = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{(2+1+2)r}{6} = \frac{5r}{6}.$$

Підставивши значення r = 1 Ом, знаходимо, що $R = \frac{5}{6}$ Ом.

Відповідь: R = $\frac{5}{6}$ Ом.

Задача 6. Знайти струми, які течуть через опори R_1, R_2, R_3, R_4 у колі постійного струму, зображеному на малюнку (рис.7), якщо $R_1 = R_4 = 10$ Ом, $R_2 = R_3 = 20$ Ом, е.р.с. елементів живлення $\mathcal{E}_1 = 50$ В, $\mathcal{E}_2 = 20$ В. Опорами джерел живлення знехтувати.

Дано:

$R_1 = R_2 = 10$ Ом
$R_3 = R_4 = 20$ Ом
$\varepsilon_1 = 50$ В
$\varepsilon_2 = 20$ В

I_1, I_2, I_3, I_4 - ?

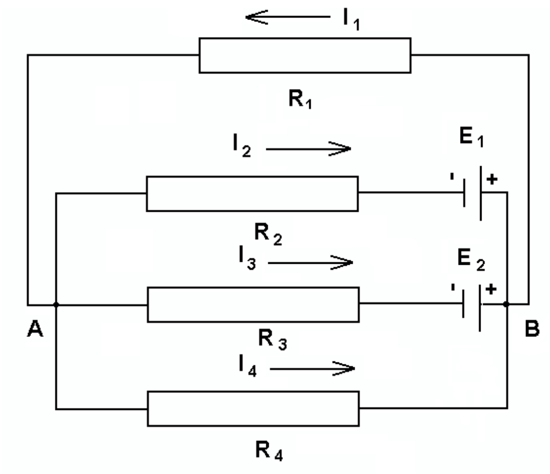


Рис. 7.

Розв'язок.

Електричне коло (рис. 7) є розгалудженим. Для нього можна застосувати правила Кірхгофа.

Розіб'ємо коло на контури, наприклад, A R_1B R_4A; A R_2B R_4A; AR_2BR_3A. Виберемо довільно напрями струмів у кожному контурі як показано на малюнку.

Виберемо довільно напрям обходу контурів (у нашому випадку – за годинниковою стрілкою). Для вузла В застосуємо І правило Кірхгофа. Згідно нього можна записати:

$$I_2, + I_3 + I_4 = I_1.$$

Для кожного з вибраних контурів застосуємо ІІ правило Кірхгофа:

для контуру **A $\mathbf{R_1}$B $\mathbf{R_4}$A**: $- I_1R_1 - I_4R_4, = 0$ (оскільки напрями струмів I_1 та I_4 не співпадають з напрямом обходу контуру і в контурі, що розглядається, відсутня е.р.с., тобто $\varepsilon = 0$), або:

$$I_1R_1 + I_4R_4 = 0;$$

для контуру **A $\mathbf{R_2}$B $\mathbf{R_4}$A**:

$$I_2R_2 - I_4R_4 = \mathcal{E}_1,$$

оскільки напрям струму I_2 співпадає з напрямом обходу контуру, а струм I_4 напрямлений проти; контур має одну е.р.с. ε_1, яка розташована в контурі так, що при обході контуру у вибраному напрямку потенціал зростає (від "-" до "+") і входить до рівняння зі знаком "+". Опором джерела за умовою задачі нехтують ($r = 0$);

для контуру **A $\mathbf{R_2}$B $\mathbf{R_3}$A**:

$$I_2R_2 - I_3R_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2,.$$

Для цього контуру напрям струму I_3 не співпадає з напрямом обходу, так само, як і напрям зростання потенціалу ε_2, тому у рівняння I_3R_3 та ε_2 входять зі знаком "-".

Із записаних для вузлової точки та кожного вибраного контуру рівнянь складемо систему, розв'язавши яку, отримаємо шукані струми:

$$\begin{cases} I_2, + I_3 + I_4 - I_1 = 0 \\ I_1R_1 + I_4R_4 = 0 \\ I_2R_2 - I_4R_4 = \varepsilon_1 \\ I_2R_2 - I_3R_3 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \end{cases}$$

Підставимо у рівняння отриманої системи числові значення опорів та е.р.с.:

$$\begin{cases} I_2, + I_3 + I_4 - I_1 = 0 \\ 10I_1 + 20I_4 = 0 \\ 10I_2 - 20I_4 = 50 \\ 10I_2 - 20I_3 = 50\text{-}20 = 30 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I_2, + I_3 + I_4 - I_1 = 0 \\ I_1 + 2I_4 = 0 \\ I_2 - 2I_4 = 5 \\ I_2 - 24I_3 = 3 \end{cases}$$

Розв'язавши систему, отримаємо, що $\boldsymbol{I_1} = 2\ A$, $\boldsymbol{I_2} = 3\ A$, $\boldsymbol{I_3} = 0\ A$, $\boldsymbol{I_4} = -1\ A$.

Оскільки значення сили струму $\boldsymbol{I_4}$ отримано зі знаком "-", то можна зробити висновок, що насправді струм $\boldsymbol{I_4}$ тече у напрямку, протилежному вибраному на схемі.

Відповідь: **I_1=2 A, I_2=3A, I_3=0 A, I_4= - 1 A.**

Задача 7. Два електричних чайники об'ємом 1 л кожен, мають по дві спіралі потужністю 150 Вт та коефіцієнтом корисної дії η = 0,75. У першому чайнику спіралі з'єднані послідовно, а в другому – паралельно. Визначити, у якому з чайників і у скільки разів швидше закипить вода, яку наливають при кімнатній температурі (t = 18° С). Знайти час закипання води у цьому чайнику.

Дано:

$V = 10^{-3}$ м^3

$P_1 = P_2 = P = 150$ Вт

$t_{води1} = 18°$ С

$t_{води2} = 100°$ С

c = 4200 Дж/кг·гр

$\frac{t_1}{t_2}$, t_{min} - ?

Розв'язок.

Коефіцієнт корисної дії чайника визначається за формулою: $\eta = \frac{Q_K}{Q_З}$.

Оскільки Q_K (корисна) = $c \cdot m \cdot \Delta t$ ($\Delta t = t_{води1} - t_{води2}$), а $Q_З$ (затрачена) = P·t (добуток потужності нагрівника на час, протягом якого відбувається нагрівання).

Тоді $\eta = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{P \cdot t}$, а час нагрівання $t = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{\eta \cdot P}$.

Потужність нагрівника електричного чайника, що складається з двох спіралей, $P = I \cdot U$, або $P = \frac{U^2}{R}$, де R – загальний опір спіралей. У першому чайнику спіралі з'єднані послідовно, отже загальний опір нагрівника $R_з = R + R = 2R$, а потужність $P_1 = \frac{U^2}{2R} = \frac{P}{2}$.

Тоді $t_1 = \frac{2 \cdot c \cdot m \cdot \Delta t}{\eta \cdot P}$.

У другому чайнику спіралі з'єднані паралельно, отже загальний опір нагрівника $\frac{1}{R_з} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R}$, звідки $R_з = \frac{R}{2}$, а потужність $P_2 = \frac{2U^2}{R} = 2P$.

Тоді $t_2 = \frac{C \cdot m \cdot \Delta t}{2 \cdot \eta \cdot P}$.

Знайдемо відношення $\frac{t_1}{t_2}$:

$\frac{t_1}{t_2} = \frac{2 \cdot C \cdot m \cdot \Delta t \cdot 2 \cdot \eta \cdot P}{C \cdot m \cdot \Delta t \cdot \eta \cdot P} = 4$. Звідки, $t_1 = 4t_2$.

Отже, другий чайник закипить у 4 рази швидше, ніж перший.

Визначимо час, протягом якого у другому чайнику закипить 1 л води (1 л води становить 1 м^3 або 1 кг):

$$t_2 = t_{\min} = \frac{4200 \cdot 1 \cdot 82}{2 \cdot 0{,}75 \cdot 150} = 1530{,}7 \text{ с} = 25{,}5 \text{ хв.}$$

Відповідь: $\boldsymbol{\frac{t_1}{t_2} = 4; \; t_{\min} = 25{,}5}$ **хв.**

Магнітне поле струму

Принцип суперпозиції магнітних полів:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i \qquad \textbf{(45)}.$$

На провідник зі струмом у магнітному полі діє сила Ампера, яка пропорційна добутку сили струму, індукції магнітного поля та довжини провідника і залежить від кута між напрямом струму та вектором індукції магнітного поля:

$$F = I \cdot B \cdot l \cdot \sin(\widehat{\vec{l}, \vec{B}}) \qquad \textbf{(46)}.$$

Індукцію магнітних полів струмів розраховують за законом Біо - Савара - Лапласа:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I dl \sin(\widehat{\vec{dl}, \vec{r}})}{r^2} \qquad \textbf{(47)}.$$

Індукція магнітного поля прямолінійного нескінченно довгого провідника зі струмом на відстані r від нього:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{r} \qquad \textbf{(48)},$$

де μ - відносна магнітна проникність середовища, а μ_0 - магнітна стала ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

Індукція магнітного поля колового провідника радіуса R зі струмом в його центрі:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{2} \cdot \frac{I}{R} \qquad \textbf{(49)}.$$

Індукція магнітного поля колового провідника радіуса R зі струмом на відстані h від його центра:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{2} \cdot \frac{I \cdot R^2}{(R^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}} \quad \textbf{(50)}.$$

Магнітне поле є вихровим і циркуляція вектора індукції $\vec{B}$ по замкненому контуру L навколо провідника зі струмом дорівнює (закон повного струму):

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \mu \sum_{i=1}^{n} I_i = \mu_0 \mu \cdot I \quad \textbf{(51)}.$$

Потік вектора індукції магнітного поля:

$$\Phi = \int_S B_n dS \quad \textbf{(52)}.$$

Напруженість магнітного поля, що створюється струмом провідності:

$$\oint_L \vec{H} dl = \oint_S j_n dS \quad \textbf{(53)}.$$

Індукція магнітного поля та напруженість пов’язані співвідношенням:

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \mu \cdot \vec{H} \quad \textbf{(54)}.$$

На контур зі струмом у однорідному магнітному полі діє обертальний момент:

$$M = I \cdot B \cdot S \quad \textbf{(55)}.$$

Індукція магнітного поля соленоїда (довгої прямої котушки, що складається з деякої кількості однакових витків ізольованого провідника, намотаного на циліндричну поверхню) на його осі дорівнює:

$$B = \mu_0 \mu \cdot I \cdot n \quad \textbf{(56)},$$

де $n = \frac{N}{l}$ (кількість витків, поділена на довжину соленоїда).

Магнітний момент соленоїда:

$$p_M = \mu_0 \mu \cdot n \cdot I \cdot S \cdot l \quad \textbf{(57)}.$$

На рухомий заряд у магнітному полі діє сила Лоренца:

$$F = |q| \cdot V \cdot B \cdot \sin(\vec{V}, \vec{B}) \quad \textbf{(58)},$$

де $|q|$ - значення рухомого заряду, V – його швидкість.

Робота по переміщенню провідника зі струмом у магнітному полі:

$$dA = I \cdot d\Phi \;\left(A = I(\Phi_1 - \Phi_2) = I\Delta\Phi \right) \qquad \textbf{(59)}.$$

Закон електромагнітної індукції Фарадея:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad \textbf{(60)},$$

(знак мінус згідно правила Ленца).

Узагальнений закон електромагнітної індукції Фарадея-Максвелла:

$$\oint_L \vec{E}_l d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\int_S B_n dS \qquad \textbf{(61)}.$$

Електрорушійна сила самоіндукції:

$$\varepsilon_C = -L \cdot \frac{dI}{dt} \qquad \textbf{(62)},$$

де L – індуктивність контуру (фізична величина, яка залежить від форми, розмірів контуру та магнітної проникності середовища).

Індуктивність соленоїда:

$$L = \mu_0 \cdot \mu \cdot n^2 \cdot V \qquad \textbf{(63)},$$

де $n = \frac{N}{l}$ - кількість витків соленоїда на одиницю довжини, V – об’єм, охоплений провідником.

Взаємна індуктивність двох контурів:

$$\Phi_{12} = L_{12} I_2 ; \quad \Phi_{21} = L_{21} I_1 \qquad \textbf{(64)}.$$

Енергія магнітного поля струму:

$$W_м = \frac{L \cdot I^2}{2} \qquad \textbf{(65)}.$$

Енергія однорідного магнітного поля всередині соленоїда:

$$W_м = \frac{B^2 \cdot V}{2 \cdot \mu \ \cdot \mu} = \frac{1}{2} B \cdot H \cdot V \qquad \textbf{(66)}.$$

Густина енергії магнітного поля, або енергія на одиницю об’єму:

$$w = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot H^2}{2} = \frac{B^2}{2 \cdot \mu \ \cdot \mu} = \frac{1}{2} B \cdot H \qquad \textbf{(67)}.$$

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Два нескінченно довгих прямолінійних паралельних провідники, по яких течуть струми $I_1 = I_2 = 10$ А у протилежних напрямках, знаходяться на відстані $l = 10$ см один від одного Визначити напруженість магнітного поля, утвореного струмами, у точках: 1) А, що лежить посередині між провідниками; В, що лежить на відстані $l/2$ від другого провідника та $3l/2$ від першого провідника; 2) у точці А, якщо другий провідник розташувати перпендикулярно відносно першого.

Дано:

$I_1 = I_2 = 10$ А
$l = 0{,}1$ м

H_{A1}, H_{A2}, H_B, - ?

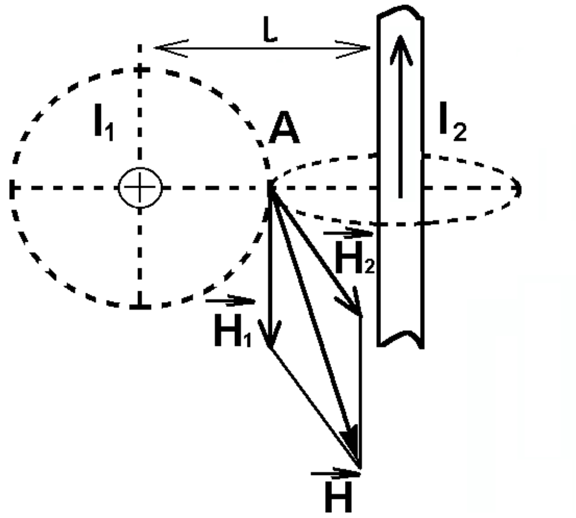


Рис. 8.

Розв'язок.

Навколо кожного з двох провідників зі струмом, що розглядаються в задачі, виникає магнітне поле, напруженість якого можна розрахувати за формулою $H = \frac{I}{2\pi r}$, де r – відстань від точки, в якій визначається напруженість, до провідника. Напруженість результуючого поля дорівнює геометричній сумі напруженостей магнітних полів $\vec{H}_1$ першого та $\vec{H}_2$ другого провідників (за принципом суперпозиції: $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$.

Розглянемо перший випадок, коли провідники паралельні (рис. 8).

Для зручності зобразимо не самі провідники, а їх перерізи. Нехай струм у першому провіднику напрямлений від нас (+), а у другому – до нас (·).

Визначаємо за правилом свердлика напрями векторів $\vec{H}_1$ та $\vec{H}_2$ для кожної з точок А та В.

У точці А напруженості магнітних полів обох провідників напрямлені вздовж однієї прямої і в один бік, тому геометричну суму можна замінити алгебраїчною з урахуванням знаків: $H = H_1 + H_2$.

Оскільки точка А розташована посередині між провідниками, а $I_1 = I_2$, то $H_1 = H_2 = \dfrac{I_1}{2\pi \frac{l}{2}}$. Тоді результуюча напруженість: $H_{A1} = 2\dfrac{I_1}{\pi l}$.

Підставивши числові значення, отримаємо:

$H_{A1} = 2\dfrac{10}{3{,}14 \cdot 0{,}1} \approx 64\ \dfrac{A}{м}.$

У точці В вектори $\vec{H}_1$ та $\vec{H}_2$ мають протилежні напрямки, причому $H_2 > H_1$ (відстань від другого провідника до точки В менша, ніж від першого, а струми однакові). Тому $H = H_2 - H_1$. Отже:

$$H_B = \frac{I_1}{2\pi\frac{l}{2}} - \frac{I_1}{2\pi\frac{3l}{2}} = \frac{I_1}{\pi l} - \frac{I_1}{3\pi l} = \frac{3I_1 - I_1}{3\pi l} = \frac{2I_1}{3\pi l}\ \text{і}$$

$$H_B = \frac{2 \cdot 10}{3 \cdot 3{,}14 \cdot 01} \approx 21\ \frac{A}{м}.$$

У другому випадку, коли провідники зі струмом перпендикулярні (рис. 9), у точці А вектори напруженостей $\vec{H}_1$ та $\vec{H}_2$, визначені за правилом свердлика, не лежать вздовж однієї прямої, а утворюють прямокутний трикутник, тому результуюча напруженість визначається за теоремою Піфагора: $H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}$.

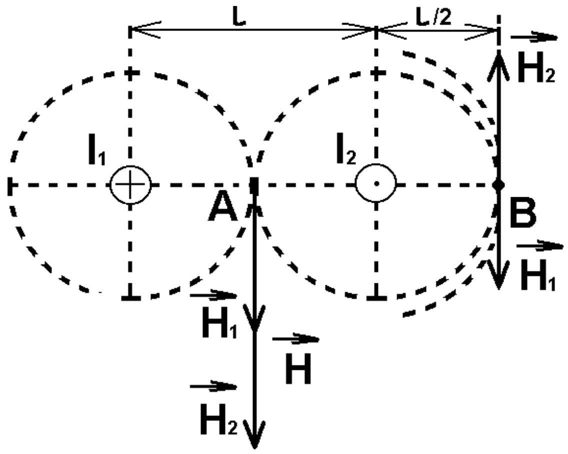


Рис. 9.

Отже, $H_{A2} = \sqrt{\dfrac{I_1^2}{\pi^2 r^2} + \dfrac{I_2^2}{\pi^2 r^2}}$.

Оскільки $r = \dfrac{l}{2}$, то

$H_{A2} = \sqrt{\dfrac{I_1^2}{\pi^2 \frac{l^2}{2}} + \dfrac{I_1^2}{\pi^2 \frac{l^2}{2}}}$, а з урахуванням, що $I_1 = I_2$:

$$H_{A2} = \sqrt{\frac{2I_1^2}{\pi^2 l^2}} = \frac{\sqrt{2}I_1}{\pi l}.$$

Підставивши в дану формулу значення фізичних величин, отримаємо:

$$H_{A2} = \frac{\sqrt{2}I_1}{\pi l} = \frac{\sqrt{2} \cdot 10}{3{,}14 \cdot 0{,}1} \approx 45\frac{A}{м}.$$

Відповідь: **$H_{A1} \approx 64\ \dfrac{A}{м}$, $H_{A2} \approx 45\ \dfrac{A}{м}$, $H_B \approx 21\ \dfrac{A}{м}$.**

Задача 2. Контур у формі квадрата, виготовлений з провідника довжиною l = 40 см та опором R = 2 Ом, помістили в магнітне поле з індукцією B = 0,5 Тл таким чином, що площина контуру перпендикулярна до напрямку магнітного поля. Визначити повний заряд, який пройде через контур при його повороті на 90°.

Дано:

l = 0,4 м
R = 2 Ом
B = 0,5 Тл
α = 90°

q - ?

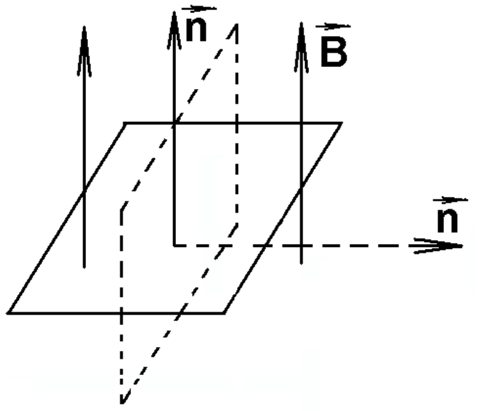


Рис. 10.

Розв'язок.

Зробимо малюнок за умовою задачі (рис. 10), показавши початкове положення контуру суцільною лінією, а після повороту на 90° – пунктиром.

Елементарний заряд, що проходить через поперечний переріз провідника контуру при зміні магнітного потоку, що пронизує площину контуру: $dq = -\frac{1}{R} d\Phi$.

Повний заряд можна знайти проінтегрувавши цей вираз:

$$q = -\frac{1}{R}\int d\Phi = -\frac{1}{R}(\Phi_2 - \Phi_1).$$

Отже, $q = -\frac{1}{R}(\Phi_2 - \Phi_1)$, де $\Phi_2 - \Phi_1 = \Delta\Phi$ - зміна магнітного потоку, що пронизує контур при його повороті в магнітному полі (Φ_1 - магнітний потік до повороту контуру, Φ_2 - після). Враховуючи, що магнітний потік $\Phi = B \cdot S \cdot \cos(\vec{B}, \vec{n})$, де $\vec{n}$ - вектор нормалі до площини S контуру, отримаємо: $\Phi_2 - \Phi_1 = 0 - \Phi_1 = -B \cdot S$ ($\Phi_2 = 0$, оскільки після повороту вектори $\vec{B}$ та $\vec{n}$ - перпендикулярні. $\Phi_1 = B \cdot S$, оскільки в початковому положенні контуру кут між $\vec{B}$ та $\vec{n}$ дорівнює 0°, а $\cos(\vec{B}, \vec{n}) = 1$).

Тоді $q = \frac{B \cdot S}{R}$, де $S = \frac{l^2}{16}$ - площа контуру, що має форму квадрата, сторона якого $\frac{l}{4}$, та $q = \frac{B \cdot l^2}{16R}$. Підставивши значення фізичних величин, отримаємо:

$$q = \frac{0{,}5 \cdot 16 \cdot 10^{-2}}{16 \cdot 2} = 0{,}25 \cdot 10^{-2}\,Кл = 2{,}5\,мКл.$$

Відповідь: **q = 2,5 мКл.**

Задача 3. Для того, щоб повернути прямокутну рамку зі струмом, розміщену у магнітному полі під кутом α = 30° до напрямку поля, перпендикулярно лініям магнітної індукції, сили магнітного поля виконують роботу А = 25 мДж. Визначити обертальний момент, що діє на рамку.

Дано:

$A = 25 \cdot 10^{-3}$ Дж
$\alpha = 30°$

Моб - ?

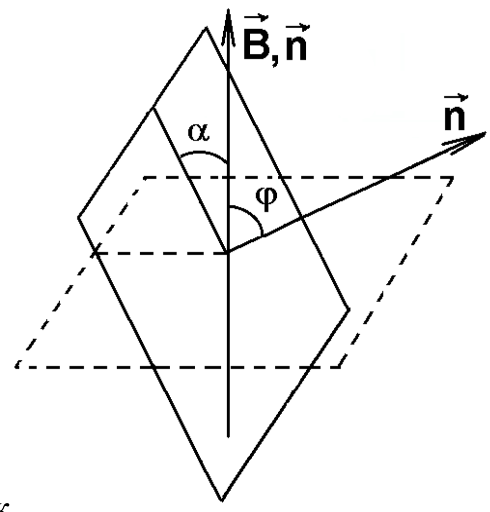


Рис. 11.

Розв'язок.

У початковому положенні кут між площиною рамки та напрямом магнітного поля (вектором магнітної індукції) α = 30° (рис. 11).

Кут між векторами магнітної індукції $\vec{B}$ та нормалі $\vec{n}$ до площини φ = 90° - α = 60°.

Після повороту рамки перпендикулярно вектору магнітної індукції, кут між векторами $\vec{B}$ та $\vec{n}$ дорівнює 0°. Таким чином, магнітний потік, що пронизує рамку, до повороту $\Phi_1 = B \cdot S \cdot \cos 60^\circ = \frac{B \cdot S}{2}$ та після повороту $\Phi_2 = B \cdot S \cdot \cos 0^\circ = B \cdot S$, а зміна магнітного потоку:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = B \cdot S - \frac{B \cdot S}{2} = \frac{B \cdot S}{2}.$$

Обертальний момент, що діє на контур зі струмом в однорідному магнітному полі $M_{об} = I \cdot B \cdot S$, а робота сил поля при повороті контуру $A = I(\Phi_1 - \Phi_2) = I\Delta\Phi$, звідки $I = \frac{A}{\Delta\Phi} = \frac{2A}{B \cdot S}$.

Тоді $M_{об} = \frac{2A}{B \cdot S} \cdot B \cdot S = 2A$. Підставляючи значення фізичних величин отримаємо:

$$M_{об} = 2 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 50 \cdot 10^{-3} Н \cdot м = 50 мН \cdot м.$$

Відповідь: **$M_{об}$ = 50 мН·м.**

Задача 4. Після проходження плоского горизонтального конденсатора, до пластин якого прикладена різниця потенціалів U = 2 кВ, електрон влітає в однорідне магнітне поле, індукція якого B = 4 мТл під кутом α = 30° до напрямку поля. Знайти радіус кривизни траєкторії руху електрона R та крок гвинтової лінії h.

Дано:

$U = 2\cdot10^3$ В
$B = 4\cdot10^{-3}$ Тл
$e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл
$m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг
$\alpha = 30°$

R, h - ?

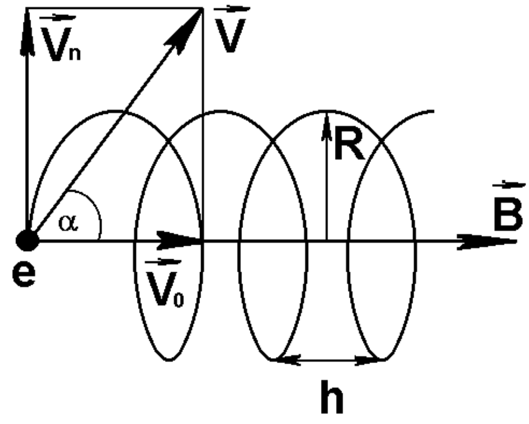


Рис. 12.

Розв'язок.

У полі конденсатора електрон розганяється до швидкості V, з якою він влітає в однорідне магнітне поле, і яку можна визначити з рівності $eU = \frac{mV^2}{2}$ (електрон отримав кінетичну енергію за рахунок роботи сил електричного поля). Тоді: $V = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$.

У магнітному полі на електрон діє сила Лоренца, перпендикулярна швидкості, яка зумовлює його рух по колу. З іншого боку, матиме місце прямолінійний рівномірний рух у напрямку поля. Об'єднавши ці два рухи, отримаємо, що заряджена частинка у магнітному полі буде рухатися по гвинтовій лінії радіуса R (рис. 12).

Під дією сили Лоренца електрон рухатиметься по колу зі швидкістю, що дорівнює нормальній складовій $\overrightarrow{V_n}$ ($V_n = V\sin\alpha$).

За другим законом Ньютона: $F = e\cdot V\cdot B\cdot\sin\alpha = m\cdot a$ (де a – нормальне прискорення). Отже:

$$B\cdot e\cdot V\cdot\sin\alpha = m\cdot a = \frac{V_n^2}{R} \text{ і } B\cdot e\cdot V\cdot\sin\alpha = \frac{m\cdot V^2\cdot\sin^2\alpha}{R}.$$

З отриманої рівності знаходимо радіус гвинтової лінії:

$$R = \frac{m\cdot V\cdot\sin\alpha}{B\cdot e}.$$

Враховуючи, що $V = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, отримаємо:

$$R = \sqrt{\frac{2m \cdot U}{e}} \cdot \frac{\sin\alpha}{B}.$$

Підставимо значення фізичних величин (можна використати відношення заряду електрона до його маси, яке є сталою величиною $\frac{e}{m}$ =1,7·10^{11} Кл/кг):

$$R = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{1{,}76 \cdot 10^{11}}} \cdot \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 0{,}754 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{10^3}{4} = 0{,}019 \approx 0{,}02 м.$$

Крок гвинтової лінії можна знайти, визначивши шлях, який пройде електрон у напрямку поля за час одного повного оберту:

$$h = V \cdot \cos\alpha \cdot T,$$

де $V \cdot \cos\alpha$ - складова швидкості електрона у напрямку поля, $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\frac{V_n}{R}} = \frac{2\pi \cdot R}{V_n} = \frac{2\pi \cdot R}{V \cdot \sin\alpha}$ - час одного повного оберту, тобто період (враховуємо, що лінійна швидкість пов'язана з кутовою співвідношенням $V = \omega \cdot R$). Тоді, врахувавши, що $R = \sqrt{\frac{2m \cdot U}{e}} \cdot \frac{\sin\alpha}{B}$, отримаємо:

$$h = V \cdot \cos\alpha \cdot \frac{2\pi \cdot R}{V \cdot \sin\alpha} = \frac{2\pi \cdot \cos\alpha}{B} \cdot \sqrt{\frac{2m \cdot U}{e}}.$$

Підставимо значення фізичних величин:

$$h = \frac{2\pi \cdot \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{1{,}76 \cdot 10^{11}}} = \pi \cdot \sqrt{3} \cdot 0{,}0377 \approx 0{,}21 м.$$

Відповідь: **R = 0,02 м; h = 0,21 м.**

Електромагнітні коливання. Змінний електричний струм. Електромагнітні хвилі. Рівняння затухаючих електромагнітних коливань:

$$L\frac{d^2q}{dt^2} = -\frac{1}{C}q - R\frac{dq}{dt} \qquad \textbf{(68)}.$$

Рівняння вільних електромагнітних коливань (омічний опір контуру R=0):

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0\,; \quad \frac{d^2q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0 \qquad \textbf{(69)},$$

де $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ - циклічна частота власних коливань.

Частота вільних коливань:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\sqrt{L\cdot C}} \qquad \textbf{(70)}.$$

Формула Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \qquad \textbf{(71)},$$

де L – індуктивність у генрі, а C – ємність у фарадах.

Затухаючі коливання описуються рівнянням:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = 0 \text{ або } \frac{d^2q}{dt^2} + 2\alpha\frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0 \qquad \textbf{(72)},$$

де $\alpha = \frac{R}{2L}$ - коефіцієнт затухання.

Логарифмічний декремент затухання (величина, що показує, яка частина енергії втрачається в контурі на нагрівання за половину періоду):

$$\delta = \ln\frac{A_n}{A_{n+1}} = \ln\frac{U_{m_0}e^{-\alpha t}}{U_{m_0}e^{-\alpha(t+T)}} = \alpha T = \frac{R}{2L}T \qquad \textbf{(73)},$$

де (A_n , A_{n+1} – амплітудні значення двох послідовних коливань заряду, напруги на обкладках конденсатора або сили струму в коливальному контурі).

Хвильовий опір:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad \textbf{(74)}.$$

Затухання контуру:

$$d = \frac{R}{\rho} \qquad \textbf{(75)}.$$

Добротність контуру контуру (для високоякісних контурів, що використовуються в радіотехніці, добротність складає 200-300):

$$Q = \frac{\pi}{\delta} = \frac{\rho}{R} \qquad \textbf{(76)}.$$

Період затухаючих коливань контуру з омічним опором:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - (\frac{R}{2L})^2}} \qquad \textbf{(77)}.$$

Частота, при якій настає резонанс:

$$\omega_{рез} = \sqrt{\frac{1}{LC}} \qquad \textbf{(78)}.$$

Повна енергія вільних електромагнітних коливань в контурі:

$$W = W_e + W_M = \frac{q_0^2}{2 \cdot C} = \frac{L \cdot I_m^2}{2} \qquad \textbf{(79)}.$$

Закон змінного струму:

$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi) \qquad \textbf{(80).}$$

Індуктивний опір:

$$R_L = \omega L \qquad \textbf{(81)}.$$

Ємнісний опір:

$$R_C = \frac{1}{\omega C} \qquad \textbf{(82)}.$$

Повним опір (імпеданс) кола змінного струму:

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2};\ Z = \sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2} \qquad \textbf{(83)}.$$

Амплітудне значення змінного струму:

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{Z} = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}} \qquad \textbf{(84)}.$$

Зсув фаз між силою струму та напругою у колі змінного струму:

$$\varphi = arctg\frac{\omega \cdot L - \dfrac{1}{\omega \cdot C}}{R} \qquad \textbf{(85)}.$$

Діючі (ефективні) значення струму та напруги у колах змінного струму:

$$I_{еф} = \frac{I_0}{\sqrt{2}};\ U_{еф} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \qquad \textbf{(86)}.$$

Закон Ома для діючих значень напруги і сили змінного струму:

$$I_Д = \frac{\varepsilon_Д}{Z} = \frac{\varepsilon_Д}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \dfrac{1}{\omega \cdot C})^2}} \qquad \textbf{(87)}.$$

Умова резонансу напруг у колі змінного струму:

$$\omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} \qquad \textbf{(88)}.$$

Умова резонансу струмів у колі змінного струму:

$$\frac{1}{\omega \cdot L} = \omega \cdot C \qquad \textbf{(89)}.$$

Активна потужність у колі змінного струму:

$$P = I_{еф} \cdot U_{еф} \cdot \cos\varphi \qquad \textbf{(90)}.$$

Система рівнянь, що становлять основу теорії електромагнітного поля Дж. Максвелла:

$$\oint_L E_l dl = -\frac{\partial B}{\partial t}\int_S B_n dS \qquad \textbf{(91)}.$$

$$\oint_L H_l dl = \int_S j_n dS + \frac{\partial D}{\partial t}\int_S D_n dS \qquad \textbf{(92)}.$$

$$\int_S B_n dS = 0 \qquad \textbf{(93)}.$$

$$\int_S D_n dS = \int_V \rho dV \qquad \textbf{(94)}.$$

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H} \qquad \textbf{(95)}.$$

$$\vec{D} = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \vec{E} \qquad \textbf{(96)}.$$

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \qquad \textbf{(97)}.$$

Швидкість поширення електромагнітної хвилі у вакуумі:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \,\frac{м}{с} \qquad \textbf{(98)}.$$

Швидкість поширення електромагнітної хвилі у однорідному середовищі:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \cdot \mu}} \qquad \textbf{(99)},$$

де ε, μ – відносні діелектрична та магнітна проникності середовища.

Довжина електромагнітної хвилі у вакуумі та середовищі:

$$\lambda = c \cdot T \ \text{ та } \ \lambda = \frac{V}{\upsilon} = V \cdot T = \frac{2\pi \cdot V}{\omega} = \frac{2\pi}{k} \qquad \textbf{(100)},$$

де υ - частота, а T – період електромагнітного коливання, k, хвильове число.

Рівняння плоскої біжучої електромагнітної хвилі у вакуумі:

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx), \ B = B_0 \sin(\omega t - kx) \qquad \textbf{(101)},$$

де E_0, B_0 - амплітуди хвилі, а $k = \frac{\omega}{V} = \frac{2\pi}{\lambda}$ - хвильове число.

Хвильовий опір середовища:

$$\rho = \frac{E_m}{H_m} = \sqrt{\frac{\mu \cdot \mu_0}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}} \qquad \textbf{(102)}.$$

Об'ємна густина енергії електромагнітної хвилі:

$$w = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2}{2} + \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot H^2}{2} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2 = \mu_0 \cdot \mu \cdot H^2 \qquad \textbf{(103)}.$$

Модуль вектора Умова-Пойнтінга:

$$|\ \vec{\Pi}\ | = [\,|\,\vec{E} \cdot \vec{H}\,|\,] = E \cdot H \qquad \textbf{(104)}.$$

Імпульс електромагнітної хвилі:

$$G = \frac{\langle \Pi \rangle}{c^2} = \frac{E \cdot H}{c^2} \qquad \textbf{(105)}.$$

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Знайти період вільних коливань, логарифмічний декремент та добротність коливального контуру, який складається з індуктивності та ємності. Омічний опір контуру R = 20 Ом, L = 2 мкГн, С = 4 нФ.

Дано:

L = 2 мкГн = $2{\cdot}10^{-6}$ Гн
С = 4 нФ = $4{\cdot}10^{-9}$ Ф
R = *20 Ом*

T, δ, Q - ?

Розв'язок.
Період коливань контуру з омічним опором можна визначити як:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - (\frac{R}{2L})^2}}$$

Підставивши значення фізичних величин, знайдемо Т:

$$T = \frac{2 \cdot 3{,}14}{\sqrt{\frac{1}{2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-9}} - \frac{400}{16 \cdot 10^{-12}}}} = \frac{6{,}28}{\sqrt{0{,}125 \cdot 10^{15} - 25 \cdot 10^{12}}} =$$

$$= \frac{6{,}28}{\sqrt{100 \cdot 10^{12}}} = 0{,}628 \cdot 10^{-6} \approx 0{,}6 \text{мкс}.$$

Логарифмічний декремент затухання визначимо із співвідношення:

$$\delta = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \ln \frac{A_0 e^{-\alpha t}}{A_0 e^{-\alpha(t+T)}} = \alpha T = \frac{R}{2L} T\,.$$

Таким чином:

$$\delta = \frac{20}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \cdot 0{,}6 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 0{,}6 = 3 .$$

Добротність контуру визначається як:

$$Q = \frac{\rho}{R} = \frac{\pi}{\delta},$$

де $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - хвильовий опір, а δ - логарифмічний декремент затухання. Тоді:

$$Q = \frac{3{,}14}{3} = 1{,}05 .$$

Відповідь: **T = 0,6 мкс, δ = 3, Q = 1,05.**

Задача 2. До кола, яке складається із послідовно з'єднаних резистора R = 50 Ом, котушки індуктивності L = 10 мГн, конденсатора C = 0, 25 мкФ (рис.6), підключено джерело змінного струму з синусоїдальною е.р.с. ε = 50 В. Знайти частоту $\omega_{рез}$ е.р.с., при якій у даному колі настане резонанс, діючі значення сили струму в колі та напруги на резисторі, конденсаторі, котушці індуктивності при резонансі.

Дано:
R = 50 Ом,
L = 10 мГн = 10^{-2} Гн
C = 0,25 мкФ = $25 \cdot 10^{-8}$ Ф
ε = 50 В

$\omega_{рез}$,, $I_{д\,рез}$, U_R,,
U_C,,U_L - ?

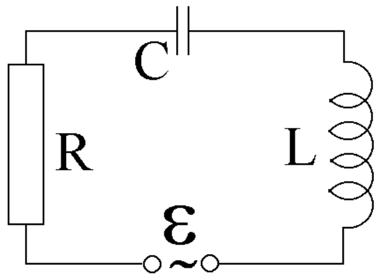


Рис. 14.

Розв'язок.

Електричне коло, що складається з ємності, індуктивності, резистора та змінної е.р.с. (рис.14), є простим коливальним контуром, в якому виникають вимушені електромагнітні коливання.

Співвідношення між значеннями сили струму та е.р.с. можна записати таким чином:

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{Z} = \frac{\mathcal{E}_0}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}} .$$

Діючі значення сили струму та е.р.с. пов'язані з амплітудними значеннями таким чином :$I_Д = I_0/\sqrt{2}$, $\varepsilon_Д = \varepsilon_0/\sqrt{2}$.

Тому можна записати, що:

$$I_Д = \frac{\varepsilon_Д}{Z} = \frac{\varepsilon_Д}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})^2}}.$$

При резонансі в контурі діюче значення сили струму буде максимальним, тобто $I_{д\,рез} = I_{max}$. Максимального значення $I_{Д\,рез}$ досягає за умови $L\omega - 1/C{\cdot}\omega = 0$, де $\omega = \omega_{рез}$, і $\omega_{рез} = \sqrt{\frac{1}{LC}}$.

Підставивши значення L та C, отримаємо:

$$\omega_{рез} = \sqrt{\frac{1}{10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-8}}} = 2 \cdot 10^4 \text{ рад/с.}$$

Визначимо діюче значення струму у контурі при резонансі:

$$I_{рез} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R^2 + 0}} = \frac{\varepsilon}{R} \text{ і } I_{рез} = \frac{50}{50} = 1A.$$

Застосувавши закон Ома для кожної з ділянок кола, знайдемо значення відповідних напруг:

$$U_R = I_{рез} \cdot R = \varepsilon = 50B;$$

$$U_C = I_{рез} \cdot X_C = \frac{I_{рез}}{C \cdot \omega} = \frac{1}{25 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^4} = 200B;$$

$$U_L = I_{рез} \cdot X_L = I_{рез} \cdot L \cdot \omega = 1 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^4 = 200B.$$

Рівність $U_C = U_L$ узгоджується з теорією, оскільки при резонансі ємнісний та індуктивний опори, а також спади напруг на них однакові.

Відповідь: **$\omega_{рез} = 2{\cdot}10^4$ рад/с; $I_{д\,рез} = 1$ А; $U_R = 50$ В; $U_C = 200$ В; $U_L = 200$ В.**

Задача 3. Визначити діапазон довжин хвиль, на яких працює радіоприймач, якщо індуктивність котушки в коливальному контурі радіоприймача L = 4 мГн, а змінним конденсатором можна регулювати ємність від 10 до 1000 пФ ?

Дано:

L = 4 мГн = $4 \cdot 10^{-3}$ Гн
C_1 = 10 пФ = 10^{-11} Ф
C_2 = 1000 пФ = 10^{-9} Ф

χ_1, χ_2 - ?

Розв'язок.

Довжина електромагнітної хвилі, що випромінюється коливальним контуром, пов'язана з періодом коливань таким співвідношенням: $\chi = c \cdot T$, де c – швидкість світла, а $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$.

Оскільки за умовою задачі довжини хвиль, на яких працює приймач, лежать в діапазоні, що визначається ємностями C_1, C_2: від $\chi_1 = c \cdot T_1$ до $\chi_2 = c \cdot T_2$.

Тоді:

$$\chi_1 = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{L \cdot C_1}, \text{ а } \chi_2 = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{L \cdot C_2}.$$

Підставивши значення фізичних величин, отримаємо:

$$\chi_1 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-11}} \approx 38 \cdot 10 \approx 380 м;$$
$$\chi_1 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-9}} \approx 38 \cdot 10^2 \approx 3800 м.$$

Отже, радіоприймач працює в діапазоні довжин хвиль $380 \leq \chi \leq 3800 (м)$.

Відповідь: **380 ≤ χ ≤ 3800 (м).**

*Варіанти завдань для самостійної роботи**

Завдання № 1

1.1. Дві однакові залізні кульки об'ємом V = 25 $мм^3$ підвішені в одній точці на тонких нитках довжиною l = 0,5 м кожна. Отримавши однаковий заряд, кульки відштовхнулися і розійшлися на відстань r = 5 см між їхніми центрами. Визначити заряд кожної кульки.

1.2. Кулька діаметром d = 1,8 мм рівномірно заряджена зарядом q = 10 нКл занурюється в олію. Прикладаючи однорідне електричне поле з напруженістю E = 24 кВ/м кульку зрівноважують в олії. Визначити, з якого матеріалу виготовлена кулька.

1.3. Залізну кульку об'ємом V = 1,27 $см^3$ заряджають зарядом q = 100 нКл і занурюють в посудину з олією. Визначити, при якій напруженості електричного поля, лінії якого напрямлені проти сили тяжіння, кулька почне спливати.

1.4. Два однакові заряди, що знаходяться на маленьких кульках, розміщених одна відносно одної на відстані d = 20 см, взаємодіють у повітрі з силою F = 0,25 мН. У скільки разів необхідно збільшити заряди на кульках, щоб вони взаємодіяли з такою само силою та на такій самій відстані у парафіні ?

1.5. Дві кульки однакового радіуса та маси підвішені на нитках однакової довжини l = 20 см таким чином, що їх поверхні дотикаються. Після того, як кулькам надали заряд q = 0,4 мкКл вони відштовхнулися і розійшлися на кут $\alpha = 60°$. Знайти масу кожної кульки.

1.6. Дві кульки однакового радіуса та масами $m_1 = m_2$ = 5 г підвішені на нитках однакової довжини l = 10 см таким чином, що їх поверхні дотикаються. Визначити заряд q, який потрібно надати кулькам, щоб сила натягу ниток стала рівною T = 98 мН ?

1.7. Дві кульки однакового радіуса та маси підвішені на нитках однакової довжини l = 20 см таким чином, що їх поверхні дотикаються і занурені в гас. Після того, як кулькам надали заряд q = 0,4 мкКл вони відштовхнулися і розійшлися на кут $\alpha = 54°$. Знайти густину матеріалу, з якого виготовлені кульки.

1.8. Дві кульки однакового радіуса та маси підвішені на нитках однакової довжини у трансформаторному маслі таким чином, що їх поверхні дотикаються. Після того, як кулькам надали деякого заряду вони відштовхнулися. Якою повинна бути густина матеріалу, з якого виготовлені кульки, щоб кут, на який розійшлися кульки в маслі дорівнював куту розходження кульок у повітрі ?

---

* Задачі дібрані за посібниками:
Гончаренко С.У. Конкурсні задачі з фізики.- К., 1979;
Загальна фізика: Збірн. задач: Навч. посібн. /За заг. Ред. І.Т.Горбачука.- К., 1993;
Механіка, електрика та магнетизм: Метод. розр. /За/р. А.М.Соловйова К.: КІЦА, 1993.

1.9. Сила натягу нитки, на якій підвішена кулька масою $m = 0,5$ мг та зарядом $q = 700$ пКл, яка взаємодіє з однойменно зарядженою нескінченою площиною, $T = 0,5$ мН. Визначити поверхневу густину заряду σ нескінченої площини.

1.10. На якій відстані один від одного мають перебувати два протони, щоб сила їх електростатичного відштовхування дорівнювала силі гравітаційного притягання на відстані, що дорівнює борівському радіусу ?

Завдання № 2

2.1. Визначити ємність та заряд плоского повітряного конденсатора, площа пластин якого 100 $см^2$, відстань між ними $d = 2$ мм, під'єднаного до клем батареї з напругою 24 В.

2.2. Плоский повітряний конденсатор з пластинами площею $S = 1$ $м^2$ та відстаню між ними $d = 1,5$ мм зарядили до різниці потенціалів $U = 300$ В. Обчислити ємність конденсатора та поверхневу густину заряду на його пластинах.

2.3. Плоский повітряний конденсатор з пластинами площею $S = 0,01$ $м^2$ та відстаню між ними $d = 5$ мм зарядили до різниці потенціалів $U = 300$ В. Після відключення конденсатора від джерела напруги простір між пластинами заповнили ебонітом. Визначити різницю потенціалів та заряд на пластинах конденсатора після заповнення.

2.4. Знайти ємність сферичного конденсатора, який складається з двох концентричних сфер радіусами $r = 10$ см та $R = 10,5$ см. Простір між сферами заповнений маслом.

2.5. Два конденсатори зарядили відповідно до напруги $U_1 = 300$ В та $U_2 = 100$ В і з'єднали їх паралельно. Знайти відношення C_1/C_2, якщо різниця потенціалів між обкладками конденсаторів стала дорівнювати 250 В.

2.6. Два конденсатори зарядили відповідно до напруги $U_1 = 200$ В та $U_2 = 50$ В і з'єднали їх паралельно. Знайти різницю потенціалів між обкладками конденсатора, якщо $C_1 = 2C_2$.

2.7. Визначити ємність конденсатора, що складається з трьох пластин площею $S = 5$ $см^2$ кожна, розділених двома шарами слюди товщиною $d = 0,1$ мм.

2.8. До плоского повітряного конденсатора з пластинами площею $S = 12,5$ $см^2$ та відстаню між ними $d = 5$ мм прикладена різниця потенціалів $U = 5$ кВ. Визначити, на скільки зміниться ємність конденсатора та енергія його електричного поля, якщо відстань між пластинами збільшити у двічі.

2.9. Різниця потенціалів між пластинами плоского конденсатора $U = 280$ В. Площа пластин конденсатора $S = 0,01$ $м^2$, поверхнева густина заряду на пластинах $\sigma = 495$ нКл/$м^2$. Знайти ємність конденсатора C, енергію W конденсатора, відстань d між пластинами конденсатора.

2.10. На пластини плоского повітряного конденсатора, відстань між якими $d = 3$ см, подається різниця потенціалів $U = 1$ кВ. Визначити, на скільки зміниться поверхнева густина заряду на пластинах при заповнені конденсатора ебонітом.

3.2. Знайти опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 15), між точками A і C, якщо кожний з провідників має опір r=1 Ом.

3.3. Знайти опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 15), між точками B і C, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

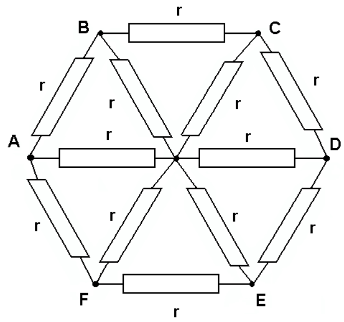


Рис. 15.

3.4. Знайти опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 16), між точками A і E, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

3.5. Знайти загальний опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис.16), між точками A і G, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

3.6. Знайти опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 16), між точками A і D, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

3.7. Знайти загальний опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 16), між точками A і F, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

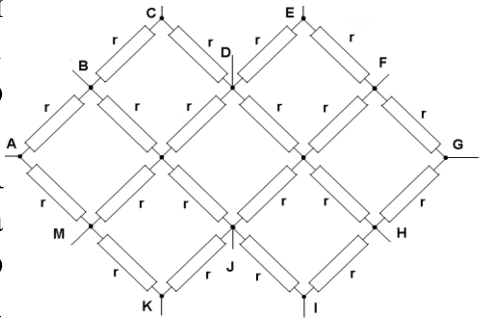


Рис. 16.

3.8. Знайти опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 17), між точками 1 і 5, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

3.9. Знайти опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 18), між точками 1 і 3, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

3.10. Знайти загальний опір R з’єднання провідників, зображеного на малюнку (рис. 18), між точками 1 і 3, якщо кожний з провідників має опір r = 1 Ом.

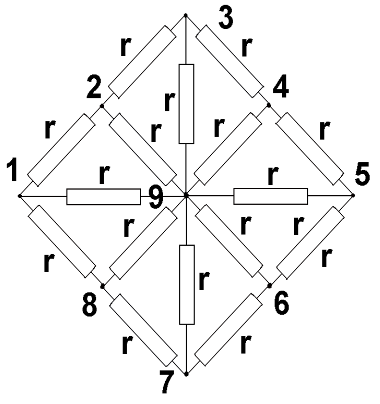


Рис. 17

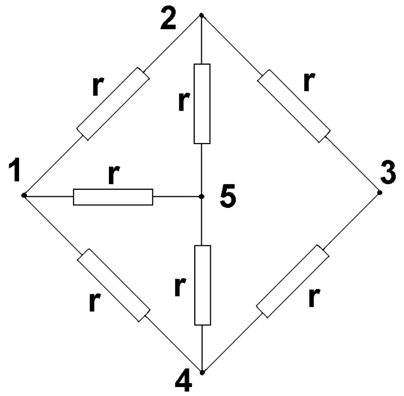


Рис. 18

Завдання № 4

4.1. Знайти відношення кількості теплоти, що виділяється в залізному та мідному провідниках однакової довжини та площі поперечного перерізу при послідовному та паралельному їх з'єднаннях.

4.2. Визначити, у скільки разів та як саме відрізняється споживана потужність при послідовному та паралельному з'єднанні n однакових опорів, підключених до джерела постійного струму.

4.3. Через який час Δt почне плавитися свинцевий провідник довжиною $l = 5$ см та діаметром $d = 0,2$ мм, який знаходився при температурі $t = 0°$ і до якого прикладена напруга $U = 100$ В. Температура плавлення свинцю $t_{пл} = 327°$ С. Втратами теплоти та зміною теплоємності при нагріванні знехтувати.

4.4. Через свинцевий провідник довжиною $l = 5$ см та діаметром $d = 0,2$ мм, який знаходиться при температурі $t = 0°$, тече струм $I = 50$ А. Визначити час, який пройде до початку плавлення провідника. Температура плавлення свинцю $t_{пл} = 327°$ С. Втратами теплоти та зміною теплоємності при нагріванні знехтувати.

4.5. Різниця потенціалів між точками А і В, з'єднаними опорами $R_1 = 5$ Ом та $R_2 = 3$ Ом, дорівнює $U = 9$ В. Визначити кількість теплоти, яка виділиться в кожному провіднику за 10 с при послідовному та паралельному з'єднанні опорів R_1 та R_2.

4.6. Дві електричні лампочки з опорами $R_1 = 360$ Ом та $R_2 = 240$ Ом під'єднані паралельно до електромережі. Визначити, яка з лампочок споживає більшу потужність та у скільки разів ?

4.7. Визначити потужність P, яку споживає електричний чайник, у якому 1 л води закипає за 5 хвилин, якщо початкова температура води 18° С. Знайти опір нагрівача, якщо напруга в мережі 120 В.

4.8. Електрична плитка має дві спіралі опорами $R = 20$ Ом. Порівняти час закипання води у посудині об'ємом $V = 2,2$ л, коли вмикаються, відповідно, одна секція, дві секції послідовно, дві секції паралельно. Початкова температура води $t_0 = 16°$ С, напруга в мережі $U = 110$ В, а коефіцієнт корисної дії нагрівача $\eta = 85$ %.

4.9. Нагрівач електричного чайника має дві спіралі. При вмикані однієї з них вода в чайнику закипає через 15 хвилин, при вмикані іншої – через 30 хвилин. Через який час вода закипить у чайнику, якщо ввімкнути обидві спіралі: a) послідовно; b) паралельно.

4.10. Знайти коефіцієнт корисної дії η нагрівача, який витрачає електричну енергію W=0,5 кВт·год для того, щоб закип'ятити 4,5 л води, що мала початкову температуру $t_0 = 23°$ С.

Завдання № 5

5.1. Два елементи живлення (рис. 19) з однаковими е.р.с. $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$ В та внутрішніми опорами $r_1 = 1$ Ом та $r_2 = 2$ Ом замкнуті на зовнішній опір R. Через елемент з ЕРС ε_1 тече струм $I_1 = 1$ А. Знайти опір R та струм, який тече через нього, та струм I_2, який тече через елемент живлення з ЕРС ε_2.

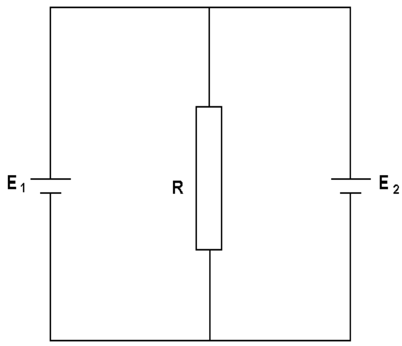
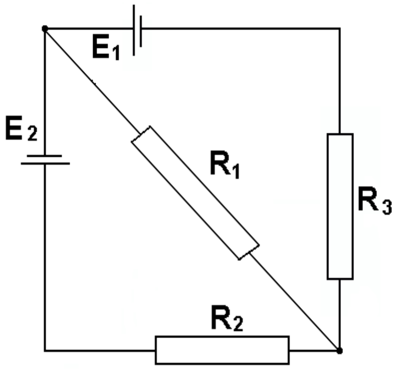


Рис. 19.

5.2. Визначити сили струмів I_1, I_2, I_3 в усіх ділянках кола, зображеного на малюнку (рис. 20). ЕРС елементів живлення $\varepsilon_1 = 2{,}1$ В, $\varepsilon_2 = 1{,}9$ В, опори $R_1 = 45$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 10$ Ом. Внутрішніми опорами елементів живлення знехтувати.



5.3. Знайти покази амперметра, увімкненого в коло, яке зображене на малюнку (рис. 21), якщо батареї живлення мають е.р.с. $\varepsilon_1 = 110$ В, $\varepsilon_2 = 220$ В, опори $R_1 = R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 500$ Ом.

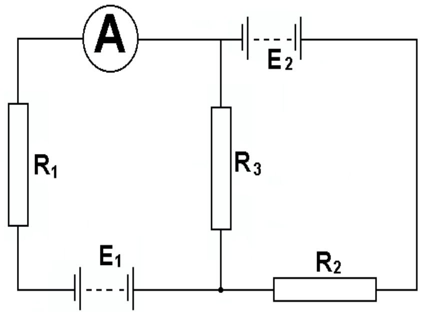


Рис. 21.

5***.4.*** Знайти струми I_i у всіх ділянках кола, зображеного на малюнку (рис.22). Батареї мають е.р.с. $\varepsilon_1 = 2$ В, $\varepsilon_2 = 4$ В, опори $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 8$.

5.5. Визначити сили струмів в окремих ділянках кола (рис. 22), якщо $\varepsilon_1 = 130$ В, $\varepsilon_2 = 117$ В, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 0{,}6$ Ом, $R_3 = 24$ Ом.

5.6. Визначити повний опір електричного кола, зображеного на малюнку (рис. 23). Внутрішній опір джерела живлення $r = 1$ Ом, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, $R_4 = 6$ Ом.

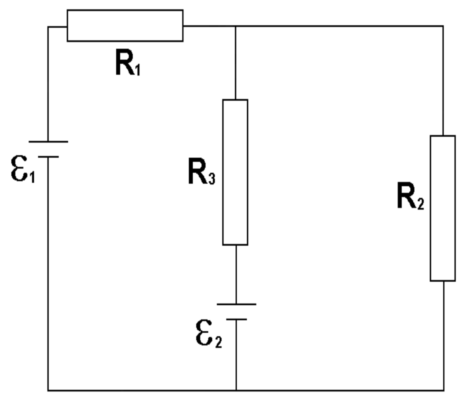


Рис. 22

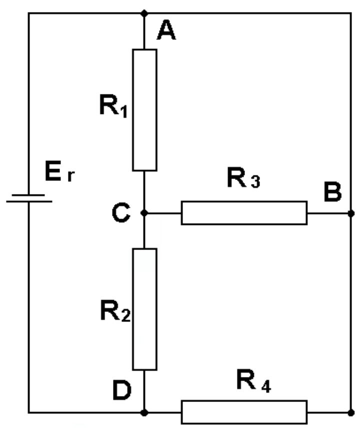


Рис. 23

5.7. Три джерела струму з ЕРС ε_1 = 11 В, ε_2 = 4 В, ε_3 = 6 В та три реостати опорами R_1 = 5 Ом, R_2 = 10 Ом, R_3 = 2 Ом з'єднані, як показано на схемі (рис. 24). Визначити сили струму в реостатах. Внутрішніми опорами джерел струму знехтувати.

5***.8.*** Знайти сили струмів в усіх ділянках кола (рис. 24), якщо ε_1 = 22 В, ε_2 = 18 В, ε_3 = 14 В, R_1 = 20 Ом, $R_2 = R_3$ = 12 Ом. Внутрішнім опором джерел живлення знехтувати.

5.9. У схемі, зображеній на рис. 25 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$, R_1 = 20 Ом, R_2 = 12 Ом. Спад напруги на резисторі R_2 = 6 В. Знайти силу струму в усіх ділянках кола. Визначити опір R_3, внутрішнім опором елементів живлення знехтувати.

5.10. Обчислити силу струму, який проходить через опір R = 10 Ом, який включений в коло, зображене на рис. 26, якщо ЕРС елементів живлення ε_1 = 8 В, ε_2 = 6 В, а внутрішні опори r_1 = 2 Ом, r_2 = 1,5.

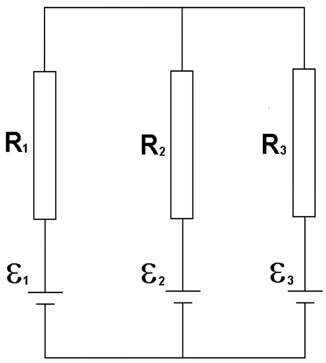


Рис. 24.

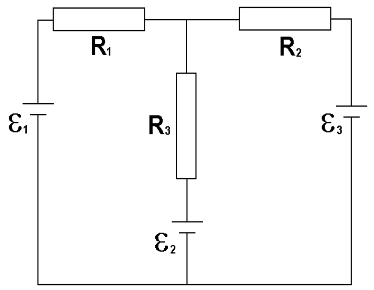


Рис. 25.

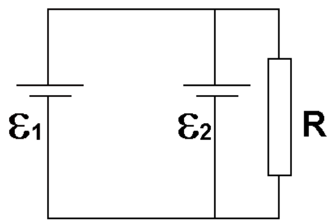


Рис. 26.

Завдання № 6

6.1. Знайти напруженість магнітного поля в точці, яка розташована на відстані 1 м від нескінченно довгого провідника, по якому тече струм 3 А.

6.2. Обчислити напруженість магнітного поля в центрі колового провідника радіуса 5 см, якщо по ньому пропускають струм 3 А.

6.3. Яку різницю потенціалів потрібно прикласти до колового провідника з поперечним перерізом 0,4 мм^2, по якому проходить струм 5 А, якщо в центрі кільця, утвореного провідником, напруженість магнітного поля складає 50 А/м.

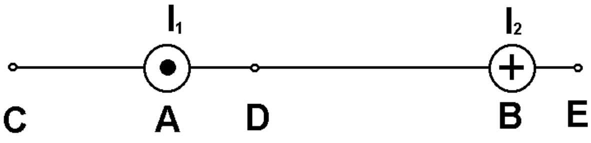


Рис. 27

6.4. Знайти напруженість магнітного поля колового витка радіуса 20 см у точці на осі витка, розташованій на відстані 10 см від його площини.

6.5. Знайти напруженість результуючого магнітного поля, викликаного двома струмами, що течуть у нескінченно довгих прямолінійних паралельних провідниках (перерізи провідників зображено на рис. 27) у точках C і D, якщо I_1 = 20 А, I_2 = 30 А, відстань між провідниками AB = 10 см, AC = 4 см, AD = 2 см.

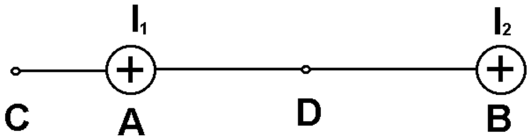


Рис. 28

6.6. Обчислити індукцію результуючого магнітного поля у точках D і E (рис. 27), якщо $I_1 = I_2$ = 30 А, відстань між провідниками AB = 10 см, AD = 2 см, BE = 2 см.

6.7. По двох нескінченно довгих прямолінійних провідниках, перерізи яких зображено на рис. 28, течуть струми I_1 = 10 А, I_2 = 20 А. Обчислити напруженість результуючого магнітного поля цих струмів у точках C і D, якщо відстань між провідниками AB = 20 см, AC = 4 см, а точка D знаходиться посередині між провідниками.

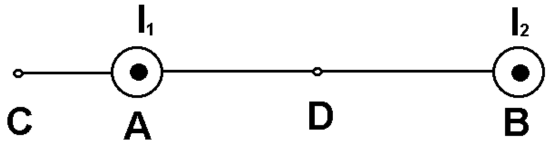


Рис. 29.

6.8. Обчислити індукцію результуючого магнітного поля, викликаного струмами I_1, I_2, що течуть по нескінченно довгих прямолінійних провідниках, у точках C і D (рис. 29), якщо $I_1 = I_2$ = 10 А, AB = 20 см, AC = 3 см, точка D розташована посередині між провідниками.

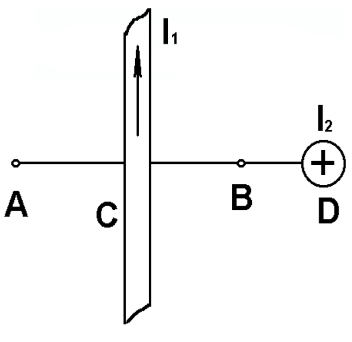


Рис. 30.

6.9. Два нескінченно довгих прямолінійних провідники зі струмами I_1 = 10 А, I_2 = 20 А, розташовані перпендикулярно у взаємно перпендикулярних площинах (рис. 30). Обчислити результуючу напруженість у точках A і B, якщо відстань між провідниками AD = 15 см, AC = 10 см, BD = 5 см.

6.10. Два нескінченно довгі прямолінійні провідники зі струма-ми розташовані в одній площині, перпендикулярно один відносно іншого (рис. 31). Обчислити напруженість результуючого магнітного поля у точка C і D, якщо струми $I_1 = I_2 = 5$ A, AC = BD = 2 см, CD = 4 см, а точки C і D розташовані на однаковій відстані від провідника зі струмом I_1.

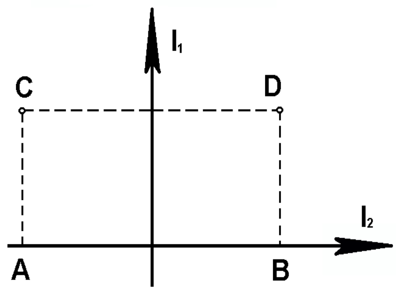


Рис. 31.

Завдання № 7

7.***1.*** Визначити силу струму, який пропустили через соленоїд площею поперечного перерізу $S = 5$ см^2 із залізним осердям, якщо магнітний потік дорівнює $\Phi = 2$ мВб. Яка проникність осердя соленоїда, якщо індуктивність соленоїда $L = 0{,}5$ Гн.

7.2. Визначити індуктивність соленоїда довжиною $l = 20$ см та площею поперечного перерізу $S = 5$ см^2 із залізним осердям, на яке намотано $N = 350$ витків провідника, по якому тече струм $I = 1$ А.

7.3. Розрахувати кількість витків, яку має котушка індуктивністю $L = 1$ мГн, по якій тече струм $I = 1$ А, якщо магнітний потік становить $\Phi = 2$ мкВб.

7.4. Визначити індуктивність котушки та магнітний потік, що проходить через її поперечний переріз, якщо довжина котушки $l = 20$ см, діаметр $d = 3$ см, а кількість витків – $N = 400$.

7.5. Визначити силу струму, при якій об'ємна густина енергія магнітного поля всередині соленоїда довжиною $l = 10$ см та площею поперечного перерізу $S = 1{,}5$ см^2 становить $w = 500$ мкДж/м^3.

7.6. Скільки витків має соленоїд малого діаметра та довжиною $l = 30$ см, якщо об'ємна густина енергії магнітного поля всередині нього становить $w = 1{,}75$ Дж/м^3 ?

7.7. Визначити напруженість магнітного поля всередині довгого прямого соленоїда, який складається з щільно прилягаючих один до одного витків дроту діаметром $d = 0{,}2$ мм. По дроту пропускають струм $I = 20$ А. Товщиною ізоляції знехтувати.

7.8. Визначити напруженість магнітного поля всередині довгого прямого соленоїда, якщо на 1 см його довжини намотано 45 витків дроту, по якому проходить струм $I = 3$ А.

7.9. Котушка довжиною $l = 20$ см, кількістю витків $N = 400$ та площею поперечного перерізу $S = 9$ см^2 має осердя з магнітною проникністю $\mu = 400$. Визначити індуктивність котушки.

7.10. Знайти індуктивність соленоїда, довжина якого $l = 25$ см, опір $R = 0{,}2$ Ом. Соленоїд намотаний з дроту поперечним перерізом $S = 1$ мм^2 .

Завдання № 8

8.1. Визначити радіус колової траєкторії, по якій буде рухатися протон, що влітає в однорідне магнітне поле напруженістю H = 4 кА/м зі швидкістю V = 20 км/с, яка перпендикулярна до напрямку поля.

8.2. Електрон, що рухається зі швидкістю $V = 4\cdot10^7$ м/с, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією B = 1 мТл. Обчислити нормальне та тангенціальне прискорення електрона в магнітному полі.

8.3. У скільки разів відрізняються радіуси кривизни траєкторій протона та електрона, які влітають в однорідне магнітне поле після прискорення однаковою різницею потенціалів ?

8.4. Знайти кінетичну енергію електрона (в електрон-вольтах), який рухається в однорідному магнітному полі з індукцією B = 2 Тл по колу радіуса R = 40 см.

8.5. Визначити заряд частинки q, яка рухається зі швидкістю $V = 10^6$ м/с по колу радіуса R = 10 см в однорідному магнітному полі з індукцією B = 0,2 Тл. Енергія рухомої частинки W = 16 кеВ.

8.6. Визначити, у скільки разів період обертання α-частинки менший від періоду обертання протона, які влітають у однорідне магнітне поле перпендикулярно його напрямку.

8.7. Знайти кінетичну енергію W α-частинки, яка в однорідному магнітному полі з індукцією B = 15 мТл рухається по колу радіуса R = 12 см.

8.8. Електрон, який рухається зі швидкістю V = 200 км/с, влітає в магнітне поле з індукцією B = 1 Тл. Визначити радіус R та крок h гвинтової траєкторії його руху, якщо кут між вектором швидкості та напрямком магнітного поля $\alpha = 30°$.

8.9. Протон, який влітає в однорідне магнітне поле з індукцією B = 5 мТл під кутом $\alpha = 60°$ до напрямку поля, рухається по гвинтовій лінії радіуса R = 10 см. Визначити кінетичну енергію протона.

8.10. Іон, прискорений різницею потенціалів U = 20 кВ влітає в однорідне магнітне поле з напруженістю 20 А/м під кутом $\alpha = 30°$ до напрямку поля. Визначити радіус R та крок h гвинтової траєкторії руху іона, якщо відношення його заряду до маси $\frac{q}{m} = 10^8$ Кл/кг.

Завдання № 9

9.1. Коловий контур радіуса R = 2 см помістили в магнітне поле, напруженість якого H = 150 кА/м, перпендикулярно до напрямку поля. Визначити, яку роботу необхідно виконати, щоб повернути контур на кут $\varphi = 90°$ навколо осі, що співпадає з діаметром контуру, якщо по контуру тече струм I = 2 А.

9.2. Коловий виток діаметром d = 0,2 м, по якому проходить струм силою I = 10 А, вільно встановився в магнітному полі з індукцією B = 0,05 Тл. Яку роботу необхідно виконати, щоб повернути виток на кут $\varphi = 180°$ навколо осі, що збігається з діаметром витка.

9.3. Коловий виток площею $S = 100$ см^2 знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією 1 Вб/м^2. Площина витка перпендикулярна до напряму магнітного поля. Визначити середнє значення ЕРС індукції, яка виникає у витку при вимиканні поля протягом часу $t = 0{,}01$ с.

9.4. В однорідному магнітному полі з індукцією $B = 0{,}1$ Тл рухається провідник довжиною $l = 10$ см. Швидкість руху провідника $V = 15$ м/с і направлена перпендикулярно до магнітного поля. Знайти ЕРС, індуковану в провіднику.

9.5. Котушка діаметром $d = 10$ см, яка складається з $N = 500$ витків дроту, знаходиться в магнітному полі. Визначити середню ЕРС індукції, яка виникає в котушці при зміні індукції магнітного поля B від 0 до 2 Тл протягом часу $t = 0{,}1$ с.

9.6. У магнітному полі з індукцією $B = 0{,}05$ Тл обертається стержень довжиною $l = 1$ м з кутовою швидкістю $\omega = 20$ рад/с. Знайти ЕРС індукції, яка виникає на кінцях стержня, якщо вісь обертання проходить через кінець стержня і паралельна до напрямку магнітного поля.

9.7. В однорідному магнітному полі з індукцією $B = 0{,}1$ Тл знаходиться коловий виток площею $S = 0{,}01$ м^2, причому, площина витка перпендикулярна до напрямку магнітного поля. Визначити середню ЕРС, що виникає у витку при вимиканні поля на час $t = 0{,}001$ с.

9.8. Провідна рамка площею $S = 150$ см^2 рівномірно обертається в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 0{,}8$ Тл з кутовою швидкістю $\omega = 15$ рад/с. Вісь обертання знаходиться в площині рамки і складає кут $\alpha = 30°$ з напрямом магнітного поля. Знайти максимальну ЕРС, яка індукується в рамці.

9.9. В однорідному магнітному полі з індукцією $B = 0{,}1$ Тл обертається котушка, яка складається з 200 витків дроту. Вісь обертання котушки перпендикулярна до власної осі котушки та напрямку поля. Знайти максимальну ЕРС, яка індукується в котушці, якщо період її обертання в магнітному полі $T = 0{,}2$ с, а площа поперечного перерізу котушки $S = 4$ см^2.

9.10. Квадратна рамка з мідного дроту перерізом $S = 1$ мм^2 знаходиться в магнітному полі перпендикулярно до його напрямку. Індукція поля змінюється таким чином: $B = B_0\sin\omega t$, де $B_0 = 0{,}01$ Тл, $\omega = 2\pi/T$, а $T = 0{,}02$ с. Площа рамки $S = 25$ см^2 . Знайти залежність ЕРС, що індукується в рамці, від часу t та її максимальне значення

Завдання № 10

10.1. На яку довжину хвилі χ настроєний коливальний контр, який складається з конденсатора ємністю $C = 0{,}8$ нФ та котушки з індуктивністю $L = 2$ мГн.

10.2. В якому діапазоні довжин хвиль працює приймач, коливальний контур якого складається з котушки індуктивністю $L = 5$ мГн та конденсатора, ємність якого змінюється від $C_1 = 50$ пФ до $C_2 = 550$ пФ.

10.3. Визначити індуктивність коливального контуру, що складається з котушки та конденсатора ємністю C = 2 мкФ, якщо частота коливань у ньому ν = 1 кГц.

10.4. Визначити частоту вільних коливань та добротність коливального контуру, якщо індуктивність контуру L = 0,6 мГн, ємність C = 250 пФ, а опір R = 22 Ом.

10.5. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю C = 7 мкФ та котушки з індуктивністю L = 0,23 Гн і опором R = 40 Ом. Заряд на обкладках конденсатора q = 0,56 мКл. Знайти період коливань T контуру та логарифмічний декремент затухання коливань δ, а також різницю потенціалів U у момент часу t = T/2.

10.6. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю C = 0,2 мкФ та котушки з індуктивністю L = 5,07 мГн. Визначити логарифмічний декремент затухання δ та опір R контуру, якщо різниця потенціалів на обкладках конденсатора зменшилася за час t = 0,001 с у три рази.

10.7. Знайти логарифмічний декремент затухання коливань для контуру, який складається з конденсатора ємністю C = 2 нФ та котушки довжиною l = 20 см, яка намотана із мідного дроту діаметром d = 00,5 мм.

10.8. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю C = 500 нФ та котушки з індуктивністю L = 10 мГн. Логарифмічний декремент затухання коливань δ = 0, 005. Протягом якого часу енергія коливального контуру зменшиться в 10 разів ?

10.9. Два коливальні контуру складаються з конденсатора та котушки з ємністю і індуктивністю відповідно C_1 = 50 пФ, C_2 = 200 пФ, L_1 = 10 мГн, L_2 = 8 мГн. На скільки відсотків потрібно змінити ємність C_2, щоб контури були настроєні в резонанс ?

10.10. Визначити період коливань контуру, який складається з плоского повітряного конденсатора, площа пластин якого S = 0,25 м^2, а відстань між пластинами d = 0,5 см, та котушки з індуктивністю L = 3 мГн.

Таблиця 1

Часткові та кратні одиниці для запису значень фізичних величин

10^{2}	Гекто (г)	10^{-2}	Санти (с)
10^{3}	кіло (к)	10^{-3}	Мілі (м)
10^{6}	мега (М)	10^{-6}	Мікро (мк)
10^{9}	гіга (Г)	10^{-9}	Нано (н)
10^{12}	тера (Т)	10^{-12}	Піко (п)

Таблиця 2

Деякі фізичні сталі

Стала	Позначення	Числове значення
Елементарний заряд	Е	$1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл
Маса спокою електрона	M_e	$9{,}11\cdot10^{-31}$ кг
Маса спокою протона	M_p	$1{,}67\cdot10^{-27}$ кг
Швидкість світла у вакуумі	С	$3\cdot10^{8}$ м/с
Борівський радіус	a_0	$5{,}29\cdot10^{-11}$ м
Електрична стала	ε_0	$8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м
Магнітна стала	μ_0	$4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м

Таблиця 3

Властивості деяких речовин

Речовина	Густина (кг/м^3)	Питомий опір (нОм·м)
Алюміній	2700	28
Залізо	7900	98
Латунь	8400	-
Мідь	8960	17
Свинець	11350	211

Таблиця 4

Діелектричні проникності деяких речовин

Речовина	Діелектрична проникність
Вода	81
Гас	2
Ебоніт	2,6
Масло трансформаторне	2,2
Парафін	2
Повітря	1
Слюда	6

Навчальне видання

Відповідальний за випуск В.С.Шматко

Наклад 100 прим.