

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра електроенергетики, електротехніки
та електромеханіки**

**ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи**

**з дисципліни
*«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ»***

**для студентів спеціальності
141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»
заочної форми навчання**

Харків 2020

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 13 січня 2020 р., протокол № 6.

Укладач

доц. М. Г. Давиденко

Рецензент

доц. В. П. Нерубацький

ЗМІСТ

Загальні вказівки до виконання роботи.....	4
1 Розрахунок електростатичного поля точкового заряду.....	5
1.1 Вихідні дані та завдання.....	5
1.2 Рекомендації з розв'язування.....	6
2 Розрахунок характеристик системи «підвішений провід – земля».....	7
2.1 Вихідні дані та завдання.....	7
2.2 Рекомендації з розв'язування.....	8
3 Розрахунок витоку струму в кабелі з неідеальною ізоляцією.....	10
3.1 Вихідні дані та завдання.....	10
3.2 Рекомендації з розв'язування.....	12
Список літератури.....	14

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Ця контрольна робота передбачає виконання студентами трьох контрольних задач:

- 1) розрахунок електростатичного поля точкового заряду;
- 2) розрахунок характеристик системи «підвішений провід – земля»;
- 3) розрахунок кабелю з неідеальною ізоляцією.

Вихідні розрахункові дані визначаються за двома останніми цифрами номера залікової книжки студента згідно з таблицями вихідних даних, наведених у кожному із завдань.

При виконанні завдань студентам необхідно додержуватись вимог, перелічених нижче.

1 Кожен студент повинен виконувати завдання згідно з номером варіанта, який визначається за двома останніми цифрами номера залікової книжки цього студента (дивись вище). Завдання повинне бути виконане в термін, передбачений діючим графіком самостійної роботи студентів.

2 Позначення електричних величин і одиниці вимірювання повинні відповідати чинним в Україні стандартам.

3 Завдання повинні бути виконані акуратно, без виправлень. За винятком титульного аркуша надана для перевірки контрольна робота має бути оформлена **рукописним чином** та **почерком виконавця роботи**, зазначеного на титульному аркуші. Текст має бути написаний чорнилом або пастою для кулькових авторучок. Титульний аркуш може бути друкованим. На ньому мають бути зазначені назва закладу вищої освіти, назва кафедри, назва роботи, прізвище та ініціали студента, шифр його групи і номер варіанта (дивись пункт 1). На початку тексту кожної із задач повинні бути вказані всі вихідні дані і завдання для розрахунку.

4 Усі етапи розв'язання повинні мати пояснення з розрахунковими формулами, проміжними і кінцевими результатами розрахунку, а також одиницями вимірювання; результати обчислень записуються з точністю до четвертої значущої цифри.

5 Графіки необхідно будувати за допомогою креслярських інструментів. Масштабні поділки, розташовані на осях графіків, повинні мати числовий крок 10^n , $2 \cdot 10^n$ або $5 \cdot 10^n$, де n – ціле число.

6 Наприкінці завдання мають бути проставлені дата закінчення роботи й особистий підпис студента.

Контрольна робота, текст якої не відповідає номеру варіанта виконавця, зазначеного на титульному аркуші, та (або) яка, за винятком титульного аркуша, оформлена не рукописним чином і (або) не почерком цього виконавця, після встановлення факту наявності хоча б одного з перелічених порушень, не підлягає розгляду по суті жодним з викладачів кафедри. Її повторний розгляд можливий тільки після усунення всіх перелічених у цьому абзаці порушень.

1 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ ТОЧКОВОГО ЗАРЯДУ

1.1 Вихідні дані та завдання

В електростатичному полі точкового заряду q напруга між точками a та b дорівнює U вольтів. Визначте величину напруженості поля в точці c , якщо точки a , b , c та q лежать в площині рисунка (рисунок 1.1), а відстані від заряду до вказаних точок становлять відповідно R_1 , R_2 та R_3 .

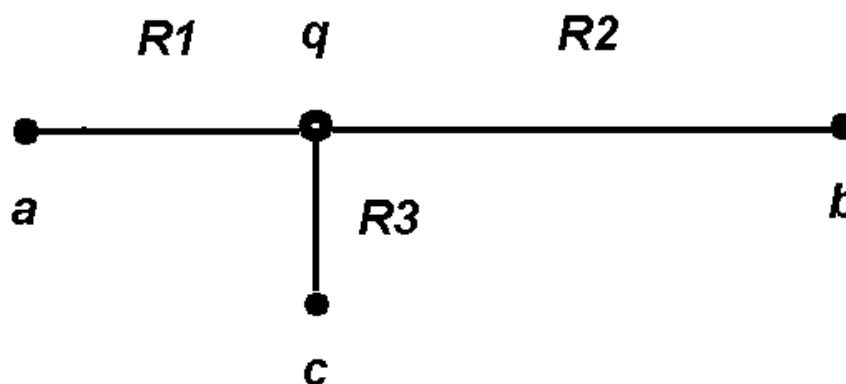


Рисунок 1.1

Числові значення вихідних даних до цієї задачі наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до задачі 1

Цифри номера залікової книжки	Дані, що визначаються за передостанньою цифрою номера залікової книжки		Дані, що визначаються за останньою цифрою номера залікової книжки	
	U, B	$R_1, см$	$R_2, см$	$R_3, см$
0	30	2	4	3
1	120	31	50	11
2	55	12	30	19
3	46	5	15	4
4	63	8	25	16
5	158	19	37	21
6	90	20	49	32
7	212	44	61	36
8	186	38	69	28
9	75	25	50	20

1.2 Рекомендації з розв'язування

Зверніть увагу на те, що величина заряду, який створює поле, невідома. Її слід знайти за відомими напругою та відстанями. Почнемо пошук з формули, яка за законом Кулона визначає величину потрібної нам напруженості E_C , а саме:

$$E_C = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R_3^2}. \quad (1.1)$$

Саме в цю формулу треба буде підставити величину заряду, коли ми її знайдемо. А щоб її знайти, необхідно відшукати співвідношення, яке пов'язує між собою напругу, заряд та відстані. Таке співвідношення утвориться з формули, яка визначає напругу між двома точками як інтеграл від скалярного добутку вектора напруженості поля \vec{E} на приріст $d\vec{R}$ вектора відстані від утворюючого поле заряду до потрібної нам точки при пересуванні від першої з цих точок до другої:

$$\begin{aligned}
 U_{ab} &= \int_a^b \vec{E} d\vec{R} = \int_{R_1}^{R_2} \vec{E} d\vec{R} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R^2} d\vec{R} = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon} \int_{R_1}^{R_2} \frac{1}{R^2} d\vec{R} = \\
 &= \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).
 \end{aligned}$$

Звідси знаходимо величину заряду

$$q = U_{ab} \cdot \frac{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon R_1 R_2}{R_2 - R_1}. \quad (1.2)$$

Тепер повертаємося до рівності (1.1) і замінюємо в ній q на праву частину формули (1.2). Добутки $\varepsilon_0 \varepsilon$ при цьому скорочуються і ми отримуємо потрібну нам формулу, яка забезпечує розрахунок напруженості поля в точці C за наявними вихідними даними. Цей крок математичних перетворень, а також, природно, розрахунок величини E_C виконавець цієї контрольної роботи повинен зробити сам. **Результат розрахунку необхідно подати у вольтах, поділених на метр.**

2 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ «ПІДВІШЕНИЙ ПРОВІД – ЗЕМЛЯ»

2.1 Вихідні дані та завдання

Довгий провід радіуса R та довжиною l , заряджений з лінійною густиною τ , підвішений у сухому повітрі на висоті h паралельно поверхні землі. Знайти потенціал у точці A , яка віддалена від осі проводу на відстань r_1 (рисунок 2.1). Розрахувати також ємність проводу відносно землі.

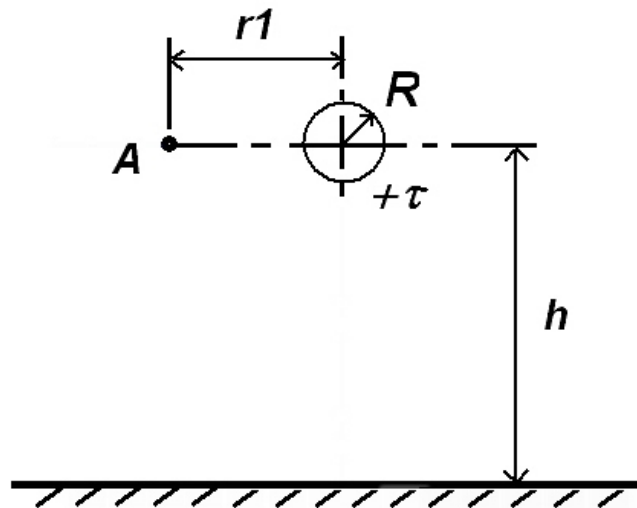


Рисунок 2.1

Числові значення вихідних даних до цієї задачі наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до задачі 2

Цифри номера залікової книжки	Дані, що визначаються за передостанньою цифрою номера залікової книжки		Дані, що визначаються за останньою цифрою номера залікової книжки		
	$τ, Кл/м$	$h, м$	$R, см$	$r_1, м$	$l, м$
0	$1 \cdot 10^{-10}$	10	1,0	1,0	1000
1	$6 \cdot 10^{-10}$	7	0,5	1,5	1500
2	$3 \cdot 10^{-9}$	12	0,8	2,0	5000
3	$8 \cdot 10^{-10}$	14	0,6	3,0	4000
4	$2 \cdot 10^{-10}$	9	1,2	1,8	2000
5	$4 \cdot 10^{-9}$	8	0,7	0,9	6000
6	$5 \cdot 10^{-10}$	11	0,9	1,7	3000
7	$7 \cdot 10^{-10}$	6	1,1	0,8	2500
8	$9 \cdot 10^{-9}$	13	1,5	2,2	4500
9	$4 \cdot 10^{-10}$	15	0,4	2,4	5500

2.2 Рекомендації з розв'язування

Найшвидше розв'язування задачі забезпечує метод дзеркальних відображень, описаний у будь-якому підручнику з

теорії електромагнітного поля. Згідно з цим методом у пару до реального проводу додають уявний провід, розташований дзеркально до реального відносно поверхні землі (рисунок 2.2).

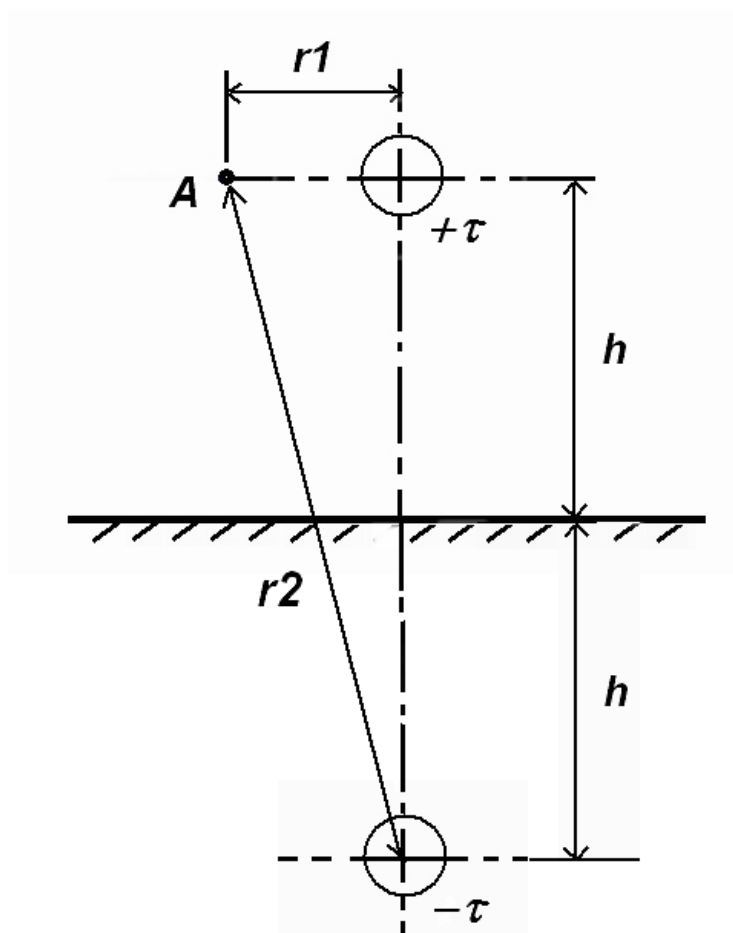


Рисунок 2.2

Лінійна густина заряду уявного проводу має знак, протилежний до знака заряду реального проводу. Після такої перебудови можна «забути» про наявність землі і вважати, що обидва проводи розташовані паралельно в тому ж повітрі, що й реальний провід. Розв'язок задачі розрахунку потенціалу точки для такої ситуації добре відомий і є таким:

$$\varphi = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (2.1)$$

де $\epsilon_0 \approx 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м є електричною сталою.

Невідому відстань r_2 знаходять за теоремою Піфагора з прямокутного трикутника, у кутах якого розташовані точка А та центри перерізів реального та уявного проводів (рисунок 2.2). Обидва його катети відомі, вони дорівнюють r_1 та $2h$. Після цього знаходять шуканий потенціал за формулою (2.1).

Співвідношення для розрахунку електричної ємності між двома паралельними проводами, розташованими в повітрі, теж є добре відомим (його наводять у підручниках з теорії електромагнітного поля):

$$C = \frac{\pi \varepsilon_0 l}{\ln \frac{d-R}{R}}, \quad (2.2)$$

де параметр d є відстанню між двома проводами і в нашому випадку $d = 2h$.

Нагадуємо, що перед початком розрахунку треба всі геометричні розміри привести до однієї основної величини – метра. Хід розрахунку слід супроводити відповідними графічними побудовами та детальними текстовими поясненнями.

3 РОЗРАХУНОК ВИТОКУ СТРУМУ В КАБЕЛІ З НЕІДЕАЛЬНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

3.1 Вихідні дані та завдання

Коаксіальний кабель перебуває під напругою U . Радіус центральної жили r_1 , внутрішній радіус оболонки r_2 (рисунок 3.1). Діелектрик кабелю має питому провідність γ . Визначити струм витоку I та опір R ізоляції ділянки кабелю довжиною l . Побудувати графік залежності $\delta(r)$ густини струму витоку від відстані r до осі кабелю.

Числові значення вихідних даних до цієї задачі наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до задачі 3

Цифри номера залікової книжки	Дані, що визначаються за передостанньою цифрою номера залікової книжки		Дані, що визначаються за останньою цифрою номера залікової книжки		
	$r_1, \text{мм}$	$r_2, \text{мм}$	$U, \text{В}$	$\gamma, \text{См/м}$	$l, \text{км}$
0	$1 \cdot 10^{-10}$	10	1,0	1,0	1,0
1	$6 \cdot 10^{-10}$	7	0,5	1,5	1,5
2	$3 \cdot 10^{-9}$	12	0,8	2,0	5,0
3	$8 \cdot 10^{-10}$	14	0,6	3,0	4,0
4	$2 \cdot 10^{-10}$	9	1,2	1,8	2,0
5	$4 \cdot 10^{-9}$	8	0,7	0,9	6,0
6	$5 \cdot 10^{-10}$	11	0,9	1,7	3,0
7	$7 \cdot 10^{-10}$	6	1,1	0,8	2,5
8	$9 \cdot 10^{-9}$	13	1,5	2,2	4,5
9	$4 \cdot 10^{-10}$	15	0,4	2,4	5,5

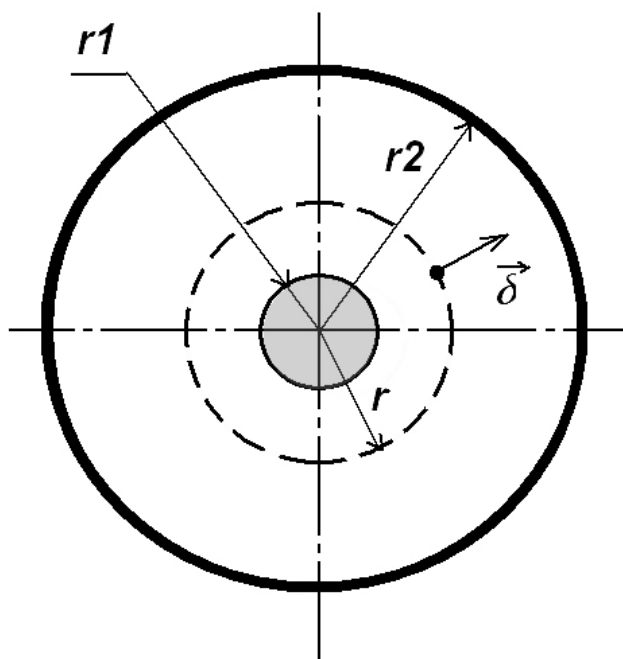


Рисунок 3.1

3.2 Рекомендації з розв'язування

Електричне поле між провідниками такого кабелю можна вважати радіально-симетричним. Унаслідок цього вектор \vec{E} напруженості поля та вектор $\vec{\delta}$ густини струму збігаються з напрямом нормалі до бічних поверхонь провідників кабелю, які являють собою циліндри (рисунок 3.1).

Введемо розрахункову циліндричну поверхню радіуса r . Струм витоку через бічну поверхню S такого уявлюваного циліндра, як відомо, є потоком вектора густини струму крізь цю поверхню:

$$I = \int_S \vec{\delta} d\vec{S} = \delta \int_S dS = \delta 2\pi r l$$

(тут ураховано, що модуль густини струму однаковий у будь-якій точці вказаної поверхні). Оскільки згідно із законом Ома в диференціальній формі модулі густини струму та напруженості поля пов'язані співвідношенням $\delta = \gamma E$, то в підсумку $I = 2\pi r l \gamma E$, звідки маємо рівність

$$E = \frac{I}{2\pi r l \gamma}. \quad (3.1)$$

У цій рівності невідомі струм витоку та напруженість поля. Їх можна знайти через відому з вихідних даних напругу, оскільки ці величини пов'язані добре відомим співвідношенням

$$U = \int_{r_1}^{r_2} E dr. \quad \text{Якщо підставити в нього замість } E \text{ формулу (3.1),}$$

то отримаємо

$$U = \frac{I}{2\pi \gamma l} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1},$$

звідки і знаходимо струм витікання (ці формули запишіть самостійно).

Оскільки величини U та I тепер відомі, то опір ізоляції знаходимо за законом Ома. Потужність теплових втрат у кабелі знаходимо як UI .

Густина струму витіку, за своїм визначенням, дорівнює відношенню струму витіку до площі поверхні, крізь яку він протікає, тобто поверхні уявлюваного циліндра радіусом r (дивись рисунок 3.1):

$$\delta = \frac{I}{2\pi r l} .$$

Ескіз цього графіка наведено на рисунку 3.2.

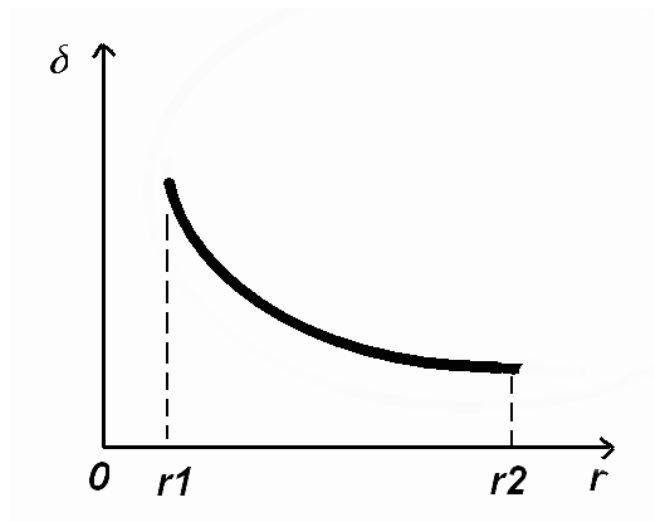


Рисунок 3.2

Нагадуємо, що перед початком розрахунку треба всі геометричні розміри привести до однієї основної величини — метра.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення : метод. посіб. з додержання вимог нормоконтролю у студ. навч. звітності / Л. М. Козар, Є. В. Коновалов, А. О. Лапко та ін. Харків : УкрДАЗТ, 2014. 58 с.

2 Карпов Ю. О., Ведміцький Ю. Г., Кухарчук В. П. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле. Херсон : Олді – плюс, 2013. 338 с.

3 Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. Москва : Юрайт, 2016. 315 с.

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи
з дисципліни
«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ»

для студентів спеціальності
141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»
заочної форми навчання
»

Відповідальний за випуск Давиденко М. Г.

Редактор Еткало О. О.

Підписано до друку 03.03.20 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,75. Тираж 80. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.