

УДК 378.147:621.3

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-2>

Андрій КЕВШИН

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3581-8852>

SCOPUS-AUTHOR ID: 35422272900

Володимир ГАЛЯН

доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0066-7174>

SCOPUS-AUTHOR ID: 35422525700

Вадим ОСТАПЮК

студент навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9345-6178>

Вадим ДИМАРЧУК

студент навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-0833-873X>

Дмитро СЕРЕДА

студент навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-2290-7899>

Бібліографічний опис статті: Кевшин, А., Галян, В., Остапюк, В., Димарчук, В., Серeda, Д. (2023). Особливості використання панелі «Лінійні електричні кола» стенду «Електротехніка. Основи електроніки УТЛЕ-01» для експериментальної перевірки принципу накладання струмів. *Фізика та освітні технології*, 2, 13–19, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-2>

**ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАНЕЛІ «ЛІНІЙНІ ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА»
СТЕНДУ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ УТЛЕ-01»
ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ПЕРЕВІРКИ ПРИНЦИПУ
НАКЛАДАННЯ СТРУМІВ**

Під електротехнікою розуміють область науки і техніки, що використовує електричні та магнітні явища для практичних цілей. Розвиток електротехніки завжди визначав тісний взаємозв'язок науково-технічних проблем з соціальними, економічними, екологічними та іншими задачами суспільства. Зважаючи на це, вивченню даної дисципліни повинна приділятися достатня увага.

При вивченні курсу Електротехніка у закладах вищої освіти, особливе місце займають розрахунки розгалужених електричних кіл постійного струму. Такі кола можуть містити декілька джерел живлення, контурів, вузлів, віток, розподіл струмів по яких необхідно визначити. Теорія електричних кіл передбачає декілька методів для вирішення такої задачі, одним із яких є принцип накладання струмів.

Суть цього принципу полягає в тому, що струм у вітці розгалуженого кола рівний алгебраїчній сумі часткових струмів, які виникають у ній від незалежної дії кожного джерела окремо. Тобто кожне джерело вносить свою частку у загальний струм вітки, а для знаходження цього струму потрібно алгебраїчно додати складові цих струмів. Розрахунок часткових струмів, як правило, здійснюють шляхом перетворення схеми. Отже, розв'язок одного складного кола зводиться до декількох простих кіл, які містять одне джерело. У статті проаналізовано особливості використання панелі вітчизняного виробника «Лінійні електричні кола», що входить до стенду «Електротехніка. Основи електроніки УТЛЕ-01» для експериментальної перевірки принципу накладання струмів під час проведення лабораторної роботи з курсу Електротехніка. Розроблені методичні вказівки для виконання такої роботи з макетами таблиць для внесення результатів дослідження. Також для кращого розуміння принципу накладання струмів розглядається теоретична задача із детальним її аналізом та розв'язком. Такий підхід поєднання теоретичних розрахунків з експериментальними дослідженнями сприяє кращому розумінню здобувачами освіти розглядуваної теми та сприяє набуттю ними необхідних фахових компетентностей.

Ключові слова: електричне коло, незалежний контур, електричний струм, принцип накладання.

Andriy KEVSHYN

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3581-8852>

SCOPUS-AUTHOR ID: 35422272900

Volodymyr HALYAN

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0066-7174>

SCOPUS-AUTHOR ID: 35422525700

Vadym OSTAPYUK

Student of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-9345-6178>

Vadym DYMARCHUK

Student of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0005-0833-873X>

Dmytro SEREDA

Student of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-2290-7899>

To cite this article: Kevshyn, A., Halyan, V., Ostapyuk, V., Dymarchuk, V., Sereda, D. Osoblyvosti vykorystannia paneli «Liniini elektrychni kola» stendy «Elektrotekhnika. Osnovy elektroniky UTLE-01» dlia eksperymentalnoi perevirky pryntsypu nakladannia strumiv [Features of using the «Linear electric circuits" panel of the stand «Electrical engineering. Fundamentals of electronics UTLE-01» for experimental verification of the principle of current imposition]. *Physics and Educational Technology*, 2, 13–19, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-2-2>

FEATURES OF USING THE “LINEAR ELECTRIC CIRCUITS” PANEL OF THE STAND «ELECTRICAL ENGINEERING. FUNDAMENTALS OF ELECTRONICS UTLE-01» FOR EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE PRINCIPLE OF CURRENT IMPOSITION

Electrical engineering refers to the field of science and technology that uses electrical and magnetic phenomena for practical purposes. The development of electrical engineering has always determined the close relationship of scientific and technical problems with social, economic, environmental and other tasks of society. Considering this, sufficient attention should be paid to the study of this discipline.

When studying the Electrical Engineering course in institutions of higher education, a special place is occupied by calculations of branched electric circuits of direct current. Such circuits may contain several power sources, circuits, nodes, branches, the distribution of currents along which must be determined. The theory of electric circuits provides several methods for solving such a problem, one of which is the principle of superimposing currents.

The essence of this principle is that the current in the line of a branched circuit is equal to the algebraic sum of the partial currents that arise in it from the independent action of each source separately. That is, each source contributes its share to the total line current, and to find this current, you need to algebraically add the components of these currents. The calculation of partial currents is usually carried out by transforming the scheme. Therefore, the solution of one complex circle is reduced to several simple circles that contain one source. The article analyzes the features of using the panel of the domestic manufacturer "Linear Electric Circuits", which is part of the "Electrical Engineering" stand. Basics of electronics UTLE-01" for experimental verification of the principle of superposition of currents during laboratory work from the Electrical Engineering course. Methodological guidelines for performing such work with table layouts for entering research results have been developed. Also, for a better understanding of the principle of superposition of currents, a theoretical problem with its detailed analysis and solution is considered. Such an approach of combining theoretical calculations with experimental research contributes to a better understanding by students of the subject under consideration and contributes to their acquisition of the necessary professional competences.

Key words: *Electric circuit, independent circuit, electric current, superposition principle.*

Актуальність проблеми.

Електротехніка на сьогодні є базовою дисципліною у вищих навчальних закладах, що формує знання з отримання, використання, перетворення і розподіл електричної енергії (Кевшин, 2022). Вона торкається усіх сфер життя, адже електротехнічні технології є основою роботи електроплиток, телевізорів, вентиляторів, телефонів, електродвигунів і т.д. Роль електротехніки також є важливою для безпеки людей і ефективного функціонування різних об'єктів інфраструктури.

Вміти правильно розраховувати розподіл струмів у вітках та спад напруги на ділянках електричного кола має велике значення для розуміння правильної експлуатації споживачів електричної енергії та розрахунку енергетичних перетворень, що відбуваються у них. Такі розрахунки можна здійснювати різними методами: методом рівнянь Кірхгофа, методом контурних струмів, методом вузлових напруг, методом еквівалентного генератора, але особливе місце займає принцип накладання струмів (Кевшин, 2021).

Мета дослідження – розглянути особливості використання принципу накладання струмів при розрахунку розгалуженого елек-

тричного кола під час виконання лабораторної роботи з курсу Електротехніка.

Виклад основного матеріалу.

При застосуванні методу накладання струмів до розрахунку складних електричних кіл із кількома джерелами необхідно попередньо визначити внутрішні опори джерел. Потім вважають, що у електричному колі діє лише джерело і визначають часткові струми, створені ним. Всі інші джерела виключають із схеми, замінивши їх відповідними внутрішніми опорами. Потім залишають в електричному колі інше джерело ЕРС, виключають решту і знову визначають часткові струми. У такий спосіб знаходять по черзі часткові струми, створені кожною ЕРС окремо. Потім знаходять повний струм через алгебраїчне сумування розрахованих часткових струмів. При цьому частковий струм беруть із знаком “плюс”, якщо він збігається за напрямком з повним струмом, а із знаком “мінус”, якщо протікає у протилежному напрямку.

$$I = I' + I'' + \dots$$

де I – повний струм; I' , I'' , ... – часткові струми.

Метод накладання струмів ґрунтується на принципі незалежності дії електрорушійних

сил різних джерел (Кевшин, 2023). Він застосовується лише до лінійних кіл, опір яких не залежить від величини струму, що протікає, або прикладеної напруги. Процеси у цих колах описуються рівняннями першого ступеня. Якщо в ланцюзі є хоча б один нелінійний елемент або у виразі, що описує процеси в колі, є хоча б одна змінна величина зі ступенем вище за першу, то метод суперпозиції використовувати не можна.

Розглянемо особливості використання цього методу при розв'язанні наступної задачі.

Задача. Три батареї з внутрішнім опором 2 Ом кожна з'єднані однойменними полюсами та мають однакові внутрішні опори рівні 2 Ом та ЕРС 8 В, 3 В і 4 В, відповідно. Нехтуючи опорами з'єднувальних проводів визначити струми, що проходять через батареї.

Відповідно до умови задачі зобразимо електричне коло.

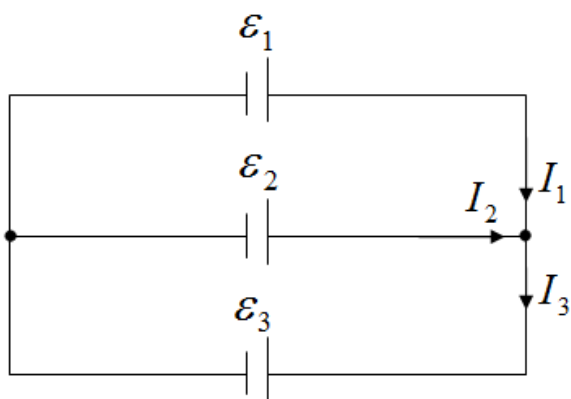


Рис. 1. Схема розгалуженого кола

Позначимо у колі струми I_1 , I_2 та I_3 , які проходять у відповідних вітках. Залишимо у колі лише одне джерело ϵ_1 , а інші два замінимо через їхні внутрішні опори (рис. 2).

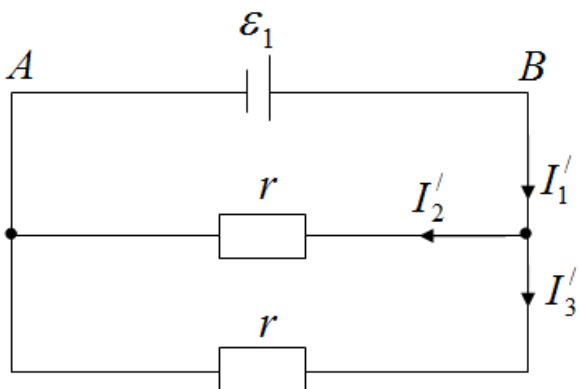


Рис. 2. Схема розгалуженого кола після заміни джерел ϵ_2 та ϵ_3 їхніми внутрішніми опорами

Знайдемо повний опір R зображеної схеми, враховуючи, що опір джерела ϵ_1 рівний r :

$$R = r + \frac{r \cdot r}{r + r} = r + \frac{r}{2} = 1,5r = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ Ом}$$

Знайдемо часткові струми I_1' , I_2' та I_3' , які протікають у відповідних вітках:

$$I_1' = \frac{\epsilon_1}{R} = \frac{8}{3} \text{ А}$$

Спад напруги на ділянці AB буде рівним:

$$U_{AB} = \epsilon_1 - I_1' r = 8 - \frac{8}{3} \cdot 2 = \frac{8}{3} \text{ В}$$

Тоді:

$$I_2' = \frac{U_{AB}}{r} = \frac{4}{3} \text{ А}; \quad I_3' = \frac{U_{AB}}{r} = \frac{4}{3} \text{ А}$$

Залишимо у колі лише одне джерело ϵ_2 , а інші два замінимо через їхні внутрішні опори (рис. 3):

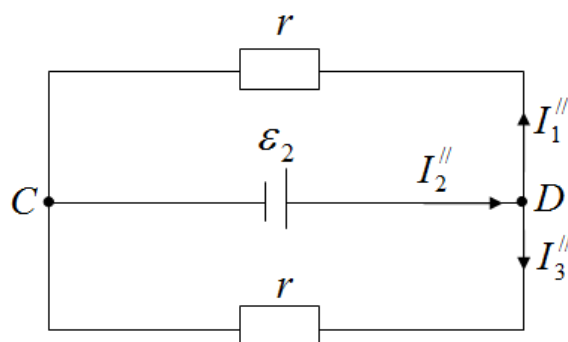


Рис. 3. Схема розгалуженого кола після заміни джерел ϵ_1 та ϵ_3 їхніми внутрішніми опорами

Неважко бачити, що повний опір R зображеної схеми теж рівний

$$R = r + \frac{r \cdot r}{r + r} = r + \frac{r}{2} = 1,5r = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ Ом}$$

Знайдемо часткові струми I_1'' , I_2'' та I_3'' , які протікають у відповідних вітках:

$$I_2'' = \frac{\epsilon_2}{R} = \frac{3}{3} = 1 \text{ А}$$

Спад напруги на ділянці CD буде рівним:

$$U_{CD} = \epsilon_2 - I_2'' r = 3 - 1 \cdot 2 = 1 \text{ В}$$

Тоді:

$$I_1'' = \frac{U_{CD}}{r} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ А}; \quad I_3'' = \frac{U_{CD}}{r} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ А}$$

Залишимо у колі лише одне джерело ϵ_3 , а інші два замінимо через їхні внутрішні опори (рис. 4):

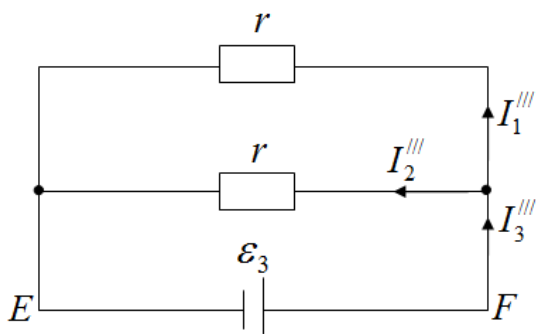


Рис. 4. Схема розгалуженого кола після заміни джерел ε_1 та ε_2 їхніми внутрішніми опорами

Як і у попередніх випадках, повний опір R зображеної схеми рівний $R = 3 \text{ Ом}$. Знайдемо часткові струми I_1''' , I_2''' та I_3''' , які протікають у відповідних вітках:

$$I_3''' = \frac{\varepsilon_3}{R} = \frac{4}{3} \text{ A}$$

Спад напруги на ділянці EF буде рівним:

$$U_{EF} = \varepsilon_3 - I_3''' r = 4 - \frac{4}{3} \cdot 2 = \frac{4}{3} \text{ B}$$

Тоді:

$$I_1''' = \frac{U_{EF}}{r} = \frac{2}{3} \text{ A}; \quad I_2''' = \frac{U_{EF}}{r} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

Аналізуючи рис. 1, 2, 3 та 4, бачимо, що напрямки струму I_1' співпадає з напрямком струму I_1 , а напрямки струмів струми I_1'' та I_1''' не співпадають. Тому:

$$I_1 = I_1' - I_1'' - I_1''' = \frac{8}{3} - 0,5 - \frac{2}{3} = 1,5 \text{ A}$$

Аналогічно розмірковуючи, знаходимо:

$$I_2 = -I_2' + I_2'' - I_2''' = -\frac{4}{3} + 1 - \frac{2}{3} = -1 \text{ A}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' - I_3''' = \frac{4}{3} + 0,5 - \frac{4}{3} = 0,5 \text{ A}$$

Знак «-» для струму I_2 свідчить про те, що даний струм протікає у протилежному до вказаного на рис. 1 напрямку.

Як показує практика, теоретичні розрахунки доцільно перевірити експериментально, наприклад, при виконанні лабораторних робіт з курсу Електротехніка (Кевшин, 2022). Для цього зручно використати панель «Лінійні електричні кола», що входить до стенду «Електротехніка. Основи електроніки УТЛЕ-01». Оскільки виробник цієї панелі не надає інструкцій до

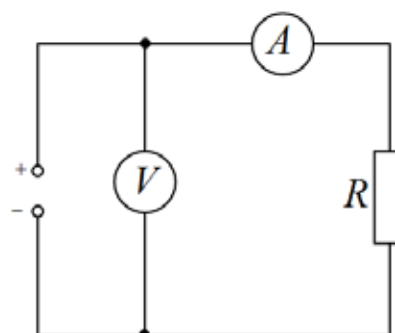
виконання лабораторних робіт, то виникає необхідність самостійно їх розробити. Можна розглянути схему із двома джерелами живлення та запропонувати наступну послідовність виконання лабораторної роботи із перевірки виконання принципу накладання струмів.

Хід роботи

1. Ознайомитися з обладнанням стенду УТЛЕ01.

2. Підключивши вольтметр до кожного із двох джерел, які використовуються в даній лабораторній роботі, виміряти їх ЕРС ε_1 та ε_2 і записати їх значення у таблицю 1.

3. Скласти коло з кожним із джерел, для визначення їх внутрішнього опору.



Виміряти струм у колі і напругу на затискачах джерела. Обчислити внутрішній опір джерела за формулою:

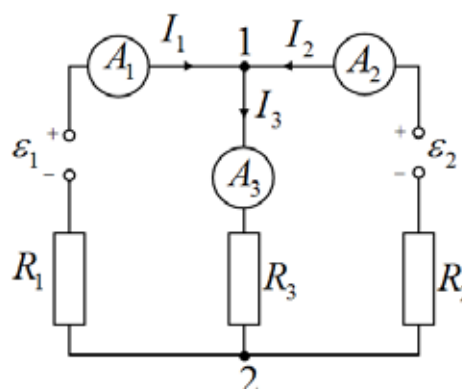
$$r = \frac{\varepsilon - U}{I}$$

Результати вимірювань записати у таблицю 1.

Таблиця 1

ε_1, B	$r_1, \text{Ом}$	ε_2, B	$r_2, \text{Ом}$

4. Скласти коло зображене на рисунку нижче.



Зовнішній вигляд панелі «Лінійні електричні кола» та схему для проведення лабораторної роботи показано на рис. 5.



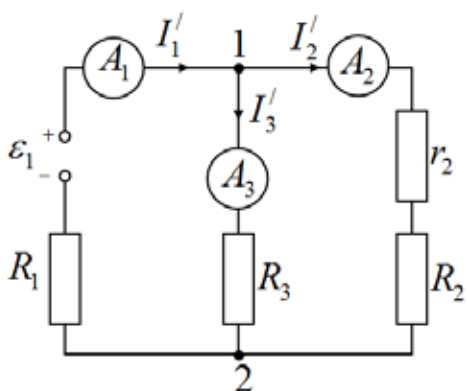
Рис. 5. Схема експериментальної перевірки принципу накладання струмів

5. Виміряти струми I_1 , I_2 та I_3 . Результати експерименту занести до таблиці 2.

Таблиця 2

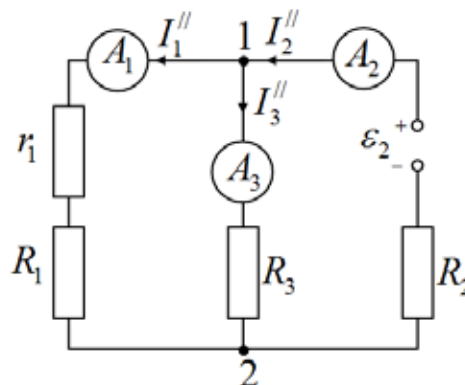
I_1, A	I_2, A	I_3, A

6. Замість джерела ε_2 ввімкнути резистор r_2 , величина опору якого дорівнює величині внутрішнього опору джерела ε_2 .



7. Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести до таблиці 3.

8. Замість джерела ε_1 ввімкнути резистор r_1 , величина опору якого дорівнює величині внутрішнього опору джерела ε_1 .



Виміряти струми у кожній гілці, дотримуючись однакового підключення амперметра. Перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа. Дані вимірювань занести до таблиці 3.

9. Розрахувати дійсні струми I_1 , I_2 , I_3 у кожній гілці, як алгебраїчну суму струмів, спричинених дією ε_1 і ε_2 окремо.

10. Порівняти розраховані струми I_1 , I_2 , I_3 із значеннями, виміряними в досліді з одночасною дією ε_1 і ε_2 (таблиця 2). Переконайтеся у справедливості принципу накладання.

Висновки. У статті розглянуто теоретичне використання принципу накладання струмів при розрахунку розгалуженого електричного кола та можливість експериментальної перевірки даного методу при виконанні лабораторної роботи. Поєднання теорії та практики сприятиме кращому засвоєнню знань та розуміння здобувачами освіти розглядуваного матеріалу. Результати даних досліджень можуть бути використані при викладанні курсу Електротехніка або інших інженерних дисциплін у вищих навчальних.

Таблиця 3

Режим роботи електричного кола	Результати вимірювань					
	I'_1, A	I'_2, A	I'_3, A	I''_1, A	I''_2, A	I''_3, A
$\varepsilon_1 \neq 0, \varepsilon_2 = 0$						
$\varepsilon_1 = 0, \varepsilon_2 \neq 0$						

ЛІТЕРАТУРА:

1. Кевшин А.Г., Галян В.В., Куршель Д.С. Особливості викладання курсу «Електротехніка» для студентів спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» Волинського національного університету імені Лесі Українки : матеріали XI-ої Міжнар. наук. конф., м. Луцьк, 1-5 травня 2022 р. Луцьк, 2022. С. 90.
2. Кевшин А. Г., Новосад О. В., Федосов С. А. Електротехніка : навч. посіб. Луцьк, 2021. 127 с.
3. Кевшин А. Г. Електротехніка : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Луцьк, 2023. 51 с.
4. Кевшин А., Галян В., Третяк А., Артюх Ю., Шафарчук В., Никифоров О., Куршель Д. Використання практичних та лабораторних занять під час вивчення складних лінійних електричних кіл постійного струму в курсі електротехніки. Фізика та освітні технології. 2022. № 1. С. 27–33.

REFERENCES:

1. Kevshyn A.H., Halian V.V., Kurshel D.S. (2022). *Osoblyvosti vykladannia kursu «Elektrotekhnika» dlia studentiv spetsialnosti «Prykladna fizyka ta nanomaterialy» Volynskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky*. Lutsk, [in Ukrainian].
2. Kevshyn A. H., Novosad O. V., Fedosov S. A. (2021). *Elektrotekhnika : navch. posib*. Lutsk, [in Ukrainian].
3. Kevshyn A. H. (2023). *Elektrotekhnika : metodychni rekomendatsii do vykonannia laboratornykh robit*. Lutsk, [in Ukrainian].
4. Kevshyn A., Halian V., Tretiak A., Artiukh Yu., Shafarchuk V., Nykyforov O., Kurshel D. (2022). *Vykorystannia praktychnykh ta laboratornykh zaniat pid chas vyvchennia skladnykh liniinykh elektrychnykh kil postiinoho strumu v kursii elektrotekhniky. Fyzyka ta osvritni tekhnolohii*. Lutsk, [in Ukrainian].