

Міністерство освіти та науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-401М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №3 з навчальної дисципліни
«Електротехніка»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково –методичною
радою з якості ННІ ЕАВГ
Протокол № 3 від 26.11.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 3 з навчальної дисципліни «Електротехніка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Маланчук Є. З., Христюк А. О. – Рівне : НУВГП, 2024. – 19 с.

Укладачі: Маланчук Є. З., д.т.н., професор кафедри АЕКІТ;
Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри АЕКІТ.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор,
завідувач кафедри АЕКІТ.

Керівник освітньої програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»: Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© Є. З. Маланчук,
А. О. Христюк, 2024
© НУВГП, 2024

Робота 3. Дослідження складних кіл постійного струму

Study of complex direct current circuits

3.1. Мета роботи

Вивчити методи розрахунку складних електричних кіл і експериментально перевірити метод еквівалентного генератора.

The purpose of the work

To study the calculation methods of complex electric circuits and experimentally verify the equivalent generator method.

3.2. Короткі теоретичні відомості

Електричні кола з послідовним, паралельним і змішаним з'єднанням елементів відносяться до простих електричних кіл, бо їх розрахунки можна виконати на підставі закону Ома. Електричні кола багатьох пристроїв складаються з декількох джерел живлення і розгалужених схем з'єднання. Такі кола шляхом перетворення схем не можна звести до послідовного або паралельного з'єднання елементів і їх називають складними колами. Розрахунок таких кіл виконують на підставі першого (сума струмів в будь-якому вузлі кола дорівнює нулю) і другого (сума е.р.с. в будь-якому замкненому контурі дорівнює сумі напруг на елементах контура) законів Кірхгофа.

Якщо схема має m вузлів, тобто точок, де з'єднуються три і більше елементів, то за першим законом Кірхгофа можна скласти $m-1$ незалежних рівнянь виду

$$\sum_{i=1}^k I_i = 0, \quad /3.1/$$

де k – кількість елементів, що з'єднуються у вузлі. Якщо схема складається з n незалежних контурів, тобто таких, які відрізняються хоча б одним елементом, то за другим законом Кірхгофа можна скласти n незалежних рівнянь виду

$$\sum_{i=1}^m E_i = \sum_{i=1}^k I_i R_i, \quad /3.2/$$

де m, k - відповідно кількість е.р.с. і опорів у контурі.

Цих рівнянь завжди достатньо, щоб визначити струми у всіх елементах кола, бо їх число завжди дорівнює $m-1+n$.

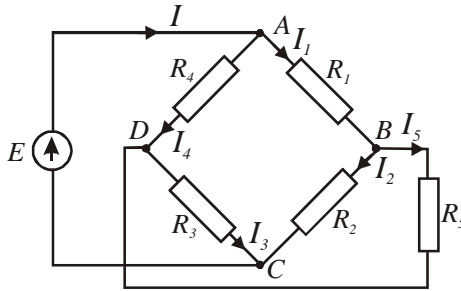


Рис. 3.1

Схема, яка наведена на рис. 3.1, має чотири вузли і три незалежні контури. Для цієї схеми згідно законів Кірхгофа можна скласти шість рівнянь. Для складання рівнянь Кірхгофа спочатку необхідно намітити передбачувані напрями струмів. Якщо в результаті розрахунків який-небудь струм буде від'ємним, то напрям цього струму потрібно змінити на протилежний. При складанні рівнянь видів /3.1/ і /3.2/ користуються такими правилами:

- струми, які направлені до вузла, записують зі знаком плюс, а від вузла – зі знаком мінус;
- при складанні рівнянь виду /3.2/ обхід контурів проводять за годинниковою стрілкою з врахуванням правила знаків: якщо напрямлення е.р.с. (від плюса до мінуса) і струму співпадають з напрямком обходу, то їх беруть зі знаком плюс. В протилежному випадку їх беруть зі знаком мінус.

Згідно схеми рис. 3.1 невідомими є струми $I, I_1, I_2, I_3, I_4,$ і I_5 . Для їх визначення складають рівняння струмів для вузлів A, B і D :

$$I - I_1 - I_4 = 0;$$

$$\begin{aligned} I_1 - I_2 - I_5 &= 0; \\ I_4 + I_5 - I_3 &= 0. \end{aligned} \quad /3.3/$$

Рівняння виду /3.2/ складають для контурів *ЕАДС*, *АВДА* і *ДВСД*:

$$\begin{aligned} E &= I_4 R_4 + I_3 R_3; \\ I_1 R_1 + I_5 R_5 - I_4 R_4 &= 0; \\ I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_5 R_5 &= 0. \end{aligned} \quad /3.4/$$

Рішення системи рівнянь /3.3/ і /3.4/ дозволяє визначити всі струми, але ці обчислення досить складні. Дещо простішим є метод контурних струмів, коли визначають умовні струми в контурах. Тоді складають систему рівнянь виду /3.2/ для незалежних контурів, вираховують контурні струми і, знаючи їх, визначають струми в опорах.

Для перевірки правильності розрахунків описаними методами, зазвичай, використовують енергетичну умову: алгебраїчна сума потужностей, яку віддають джерела е.р.с., дорівнює сумі потужностей, які поглинають споживачі. Для схеми, наведеної на рис. 3.1, ця умова буде такою:

$$EI = \sum_{i=1}^5 I_i^2 R_i. \quad /3.5/$$

При розрахунках деяких електричних кіл потрібно визначити сили струмів не у всіх вітках (опорах), а тільки в одній. Використовувати описані вище методи у цьому випадку недоцільно, бо розроблено метод еквівалентного генератора (метод холостого ходу і короткого замикання), який значно спрощує визначення струму в одній вітці чи в одному із опорів.

Нехай потрібно визначити струм, який протікає через опір R_5 в схемі, наведеній на рис. 3.1. Згідно з методом еквівалентного генератора струм

$$I_5 = \frac{E_{екв}}{R_{екв} + R_5}, \quad /3.6/$$

де $E_{екв}$ – е.р.с. еквівалентного генератора, яка дорівнює напрузі $U_{ВД}$ при $R_5 = \infty$, тобто при розімкнутій вітці з опором R_5 ; $R_{екв}$ – внутрішній опір еквівалентного генератора, тобто опір кола, яке одержимо, закортюючи джерело живлення E і розімкнувши вітку з опором R_5 . Отже, розрахунок струму I_5 зводиться до визначення $E_{екв}$ і $R_{екв}$.

На рис. 3.2 наведена схема для розрахунку $E_{екв} = U_{ВД}$ згідно визначення. Щоб знайти напругу $U_{ВД}$, запишемо другий закон Кірхгофа для контура $ВДАВ$:

$$U_{ВД} - I_4^* R_4 + I_1^* R_1 = 0. \quad /3.7/$$

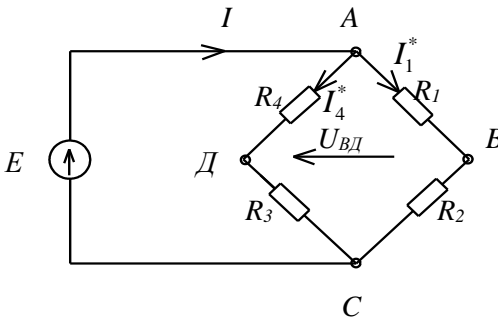


Рис. 3.2.

Коло на рис. 3.2 є простим і представляє собою паралельне з'єднання вітки з опорами R_1 і R_2 , і вітки з опорами R_4 і R_3 . Струми в цих вітках

$$I_1^* = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad \text{і} \quad I_4^* = \frac{E}{R_3 + R_4} \quad /3.8/$$

Підставивши рівняння /3.8/ в /3.7/ за умови $U_{ВД} = E_{екв}$, одержимо

$$E_{екв} = E \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right). \quad /3.9/$$

Для розрахунку опору еквівалентного генератора $R_{екв}$ згідно визначення треба на схемі рис. 3.2 закортити е.р.с. E , тобто з'єднати

точки AC . В результаті отримаємо розрахункову схему, наведену на рис. 3.3, а. Еквівалентний опір цієї схеми відносно точок $ДВ$

$$R_{екв} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad /3.10/$$

як паралельно-послідовне з'єднання чотирьох елементів.

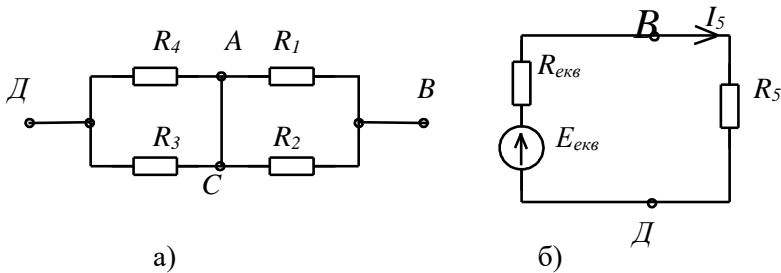


Рис. 3.3.

Отже, на підставі методу еквівалентного генератора отримали еквівалентну розрахункову схему для визначення струму в одній із віток, наведену на рис. 3.3, б. Згідно цієї схеми

$$I_5 = \frac{E_{екв}}{R_{екв} + R_5}, \quad /3.11/$$

що підтверджує розрахункову формулу /3.6/. За аналогічною методикою можна визначити струм в будь-якій іншій вітці.

Слід відмітити, що, визначивши за методом еквівалентного генератора ще струми I_1 і I_4 , можна на підставі першого закону Кірхгофа (рівняння 3.3) визначити і струми I_2 , I_3 і I і таким чином виконати повний розрахунок складного електричного кола.

Метод еквівалентного генератора широко застосовують для експериментального визначення внутрішнього опору складних електричних схем на підставі дослідів холостого ходу і короткого замикання.

Користуючись цим методом, визначимо експериментально внутрішній опір схеми, яка наведена на рис. 3.1, відносно опору R_5 . Для цього потрібно від'єднати опір R_5 і вольтметром виміряти напругу між точками B і D (режим холостого ходу). Виміряна напруга $U_{ВД}$ буде рівною е.р.с. еквівалентного генератора $E_{екв}$. Далі проводять дослід короткого замикання, замкнувши точки $ВД$ амперметром, і вимірюють струм короткого замикання $I_{к.з.}$. При цьому нехтують опором амперметра, бо він дуже малий. Внутрішній опір еквівалентного генератора вираховують за формулою

$$R_{екв} = \frac{U_{ВД}}{I_{к.з.}}. \quad /3.12/$$

Оскільки $E_{екв} = U_{ВД}$, то за формулою /3.6/ можна визначити струм I_5 . Таку методику використовують, щоб експериментально перевірити розрахунки за методом еквівалентного генератора.

На підставі схеми (рис. 3.3, б) можна записати, що

$$U_{ВД} = E_{екв} - I_5 R_{екв}. \quad /3.13/$$

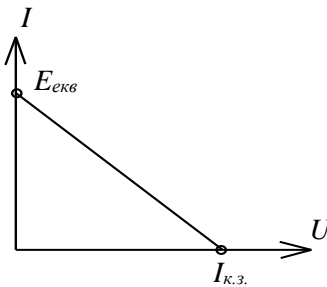


Рис. 3.4.

За рівнянням /3.13/ будують вольтамперну характеристику, яка зображена на рис. 3.4 і яка необхідна для аналізу режимів роботи кола від холостого ходу ($I=0$) до короткого замикання ($I=I_{к.з.}$) при зміні опору вітки (наприклад, опору R_5). Знання таких характеристик необхідні при розрахунках кіл з нелінійними керованими елементами.

Brief theoretical information

Electric circuits with series, parallel and mixed connection of elements belong to simple electric circuits, because their calculations can be performed on the basis of Ohm's law. The electrical circuits of many

devices consist of several power sources and extensive connection schemes. Such circles cannot be reduced to a series or parallel connection of elements by transforming the schemes and are called complex circles. The calculation of such circles is performed on the basis of the first (the sum of the currents in any node of the circle is zero) and the second (the sum of the emf in any closed circuit is equal to the sum of the voltages on the elements of the circuit) of Kirchhoff's laws.

If the scheme has m nodes, that is, points where three or more elements are connected, then according to Kirchhoff's first law it is possible to add $m-1$ independent equations of the form

$$\sum_{i=1}^k I_i = 0, \tag{3.1}$$

as well k - the number of elements connected in a node. If the scheme consists of n independent contours, that is, those that differ by at least one element, then according to Kirchhoff's second law, it is possible to add n independent equations of the form

$$\sum_{i=1}^m E_i = \sum_{i=1}^k I_i R_i, \tag{3.2}$$

as well m, k - accordingly, the number of e.r.s. and resistances in the circuit.

These equations are always sufficient to determine the currents in all elements of the circuit, because their number is always equal $m-1+n$.

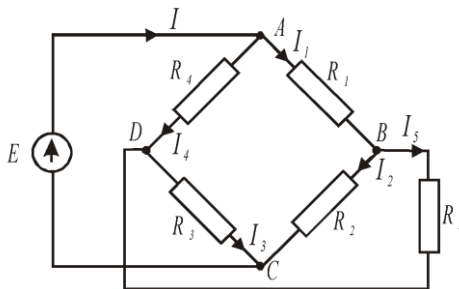


Fig. 3.1

The scheme shown in fig. 3.1, has four nodes and three independent circuits. According to Kirchhoff's laws, six equations can be made for this circuit. To compile the Kirchhoff equations, it is first necessary to outline the expected directions of the currents. If, as a result of the calculations, any current is negative, then the direction of this current must be changed to the opposite. When compiling equations of types /3.1/ and /3.2/, use the following rules:

- currents directed to the node are recorded with a plus sign, and from the node - with a minus sign;
- when compiling equations of the type /3.2/, the contours are bypassed clockwise, taking into account the sign rule: if the direction of the E.M.F. (from plus to minus) and current coincide with the bypass direction, then they are taken with a plus sign. Otherwise, they are taken with a minus sign.

According to the scheme of fig. 3.1 the unknowns are the currents I , I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , and I_5 . To determine them, the equations of the currents for the nodes are made A , B and D :

$$\begin{aligned} I - I_1 - I_4 &= 0; \\ I_1 - I_2 - I_5 &= 0; \\ I_4 + I_5 - I_3 &= 0. \end{aligned} \tag{3.3}$$

Equations of the form /3.2/ are made for contours $EADC$, $ABDA$ and $DBCD$:

$$\begin{aligned} E &= I_4 R_4 + I_3 R_3; \\ I_1 R_1 + I_5 R_5 - I_4 R_4 &= 0; \\ I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_5 R_5 &= 0. \end{aligned} \tag{3.4}$$

The solution of the system of equations /3.3/ and /3.4/ allows you to determine all the currents, but these calculations are quite complicated. A bit simpler is the method of loop currents, when the conditional currents in the loops are determined. Then a system of equations of the form /3.2/ for independent circuits is compiled, the circuit currents are calculated and, knowing them, the currents in the resistances are determined.

To check the correctness of the calculations by the described methods, an energy condition is usually used: the algebraic sum of the powers given by the electric current sources is equal to the sum of the powers absorbed by the consumers. For the scheme shown in fig. 3.1, this condition will be as follows:

$$EI = \sum_{i=1}^5 I_i^2 R_i. \tag{3.5/}$$

When calculating some electric circuits, it is necessary to determine the current strength not in all branches (supports), but only in one. It is not advisable to use the methods described above in this case, because the method of an equivalent generator (no-load and short-circuit method) has been developed, which greatly simplifies the determination of the current in one line or one of the resistances.

Let it be necessary to determine the current that flows through the resistance R_5 in the scheme shown in fig. 3.1. According to the method of the equivalent current generator

$$I_5 = \frac{E_{ek6}}{R_{ek6} + R_5}, \tag{3.6/}$$

as well E_{ek6} - e.m.f. of the equivalent generator, which is equal to the voltage U_{VD} at $R_5 = \infty$, i.e. with an open line with resistance R_5 ; R_{eq} - the internal resistance of the equivalent generator, i.e. the resistance of the circuit obtained by shorting the power source E and having opened the circuit with resistance R_5 . So, the calculation of the current I_5 comes down to definition E_{eq} and R_{ek} .

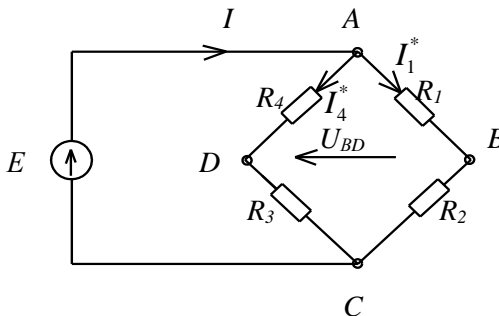


Fig. 3.2.
11

In fig. 3.2 shows the scheme for calculation $E_{eq}=U_{BD}$ according to the definition. To find the voltage U_{BD} , let's write Kirchoff's second law for the contour $BDAB$

$$U_{BD} - I_4^* R_4 + I_1^* R_1 = 0. \tag{3.7/}$$

The circle in fig. 3.2 is simple and represents a parallel connection of a line with supports R_1 and R_2 , and branches with supports R_4 and R_3 . Currents in these branches

$$I_1^* = \frac{E}{R_1 + R_2} \quad \text{and} \quad I_4^* = \frac{E}{R_3 + R_4} \tag{3.8/}$$

By substituting equation /3.8/ in /3.7/ under the condition $U_{BD}=E_{ek6}$, we will get

$$E_{ek6} = E \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right). \tag{3.9/}$$

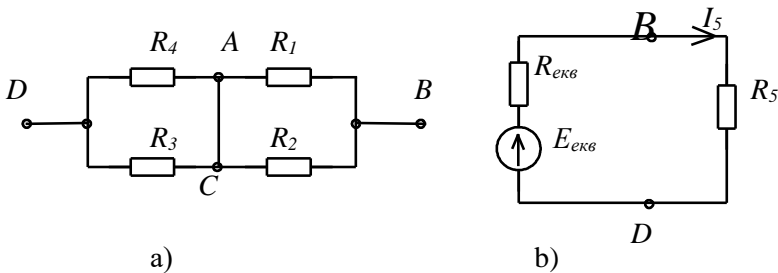


Fig. 3.3.

To calculate the resistance of the equivalent generator R_{eq} according to the definition, it is necessary on the scheme of Fig. 3.2 shorten the E.M.F. E , that is, connect the dots AC . As a result, we will get the calculation scheme shown in fig. 3.3, a. Equivalent resistance of this circuit with respect to points DB

$$R_{ek6} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \quad /3.10/$$

as a parallel-series connection of four elements.

So, on the basis of the equivalent generator method, we obtained an equivalent calculation scheme for determining the current in one of the branches, shown in Fig. 3.3, b. According to this scheme

$$I_5 = \frac{E_{ek6}}{R_{ek6} + R_5}, \quad /3.11/$$

which confirms the calculation formula /3.6/. The current in any other line can be determined using a similar method.

It should be noted that, having determined the currents by the method of the equivalent generator I_1 and I_4 , currents can also be determined on the basis of Kirchoff's first law (equation 3.3). I_2 , I_3 and I and thus perform a complete calculation of a complex electrical circuit.

The equivalent generator method is widely used to experimentally determine the internal resistance of complex electrical circuits based on no-load and short-circuit experiments.

Using this method, we experimentally determine the internal resistance of the circuit shown in Fig. 3.1, relative to resistance R_5 . To do this, you need to disconnect the resistance R_5 and measure the voltage between the points B and D (idle mode) with a voltmeter. Measured voltage U_{BD} will be equal to the e.m.f. equivalent generator E_{eq} . Next, a short-circuit test is carried out by closing the points BD ammeter, and measure the short circuit current $I_{k.z.}$. At the same time, the resistance of the ammeter is neglected, because it is very small. The internal resistance of the equivalent generator is calculated by the formula

$$R_{ek6} = \frac{U_{BD}}{I_{k.z.}}. \quad /3.12/$$

Because $E_{eq}=U_{BD}$, then the current can be determined by formula /3.6/ I_5 . This technique is used to experimentally check calculations based on the equivalent generator method.

On the basis of the scheme (Fig. 3.3, b) it is possible to write that

$$U_{BD} = E_{екв} - I_5 R_{екв}. \quad /3.13/$$

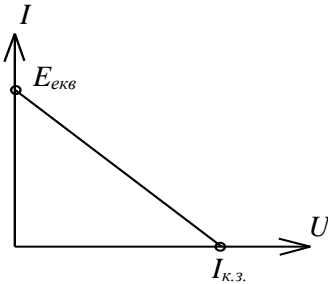


Fig. 3.4.

According to the equation /3.13/, the current-voltage characteristic, which is shown in fig. 3.4 and which is necessary for the analysis of the operating modes of the circuit from idling ($I=0$) to a short circuit ($I=I_{k.z.}$) when changing the line resistance (for example, resistance R_5). Knowledge of such characteristics is necessary when calculating circles with non-linear controlled elements.

3.3. Програма роботи

1. Виконати методом еквівалентного генератора розрахунки струму у вітці з опором R_5 схеми, яка наведена на рис. 3.1.

2. Провести досліди холостого ходу та короткого замикання і визначити внутрішній опір еквівалентного генератора.

3. За даними дослідів холостого ходу і короткого замикання визначити струм у вітці і побудувати вольтамперну характеристику.

4. Виміряти амперметром струм у вітці з опором R_5 .

5. Побудувати вольтамперні характеристики на підставі розрахунків та експериментів.

6. Порівняти результати розрахунків струму у вітці з опором R_5 аналітичним і експериментально-розрахунковим методами з прямим вимірюванням струму та визначити похибки.

Work program

1. Calculate the current in a circuit with resistance using the equivalent generator method R_5 the scheme shown in fig. 3.1.
2. Conduct no-load and short-circuit experiments and determine the internal resistance of the equivalent generator.
3. Based on the data of no-load and short-circuit experiments, determine the current in the line and construct the current-voltage characteristic.
4. Use an ammeter to measure the current in the line with resistance R_5 .
5. Build current-voltage characteristics based on calculations and experiments.
6. Compare the results of calculations of the current in the circuit with the resistance R_5 analytical and experimental-calculation methods with direct current measurement and determine errors.

3.4. Опис лабораторної установки

Лабораторна робота проводиться на стенді УИЛС. Схема електричного кола для проведення дослідів наведена на рис.3.5.

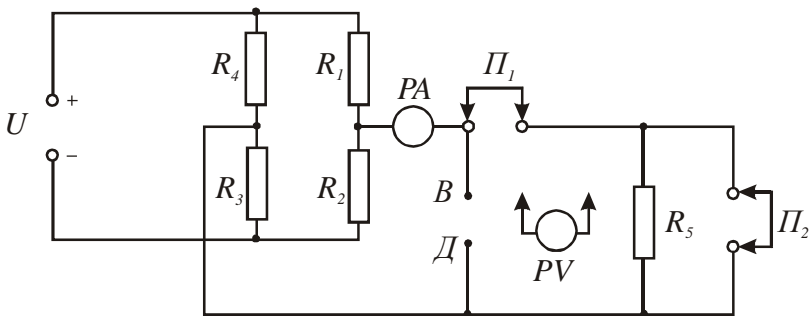


Рис.3.5

Для живлення схеми використовують регульоване джерело напруги. Резистори та перемички знаходяться в магазинах стенда. Вимірювання напруги та струму здійснюють цифровими приладами, закріпленими на стенді.

Description of the laboratory installation

Laboratory work is carried out at the UILS stand. The scheme of the electrical circuit for conducting experiments is shown in Fig. 3.5.

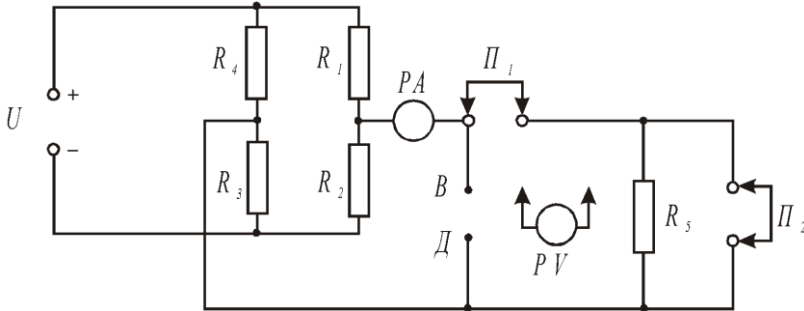


Fig. 3.5

An adjustable voltage source is used to power the circuit. Resistors and jumpers are in the stores of the stand. Voltage and current measurements are carried out with digital devices fixed on the stand.

3.5. Порядок виконання роботи

При складанні кола, схема якого наведена на рис.3.5, використати резистори з величинами опорів, заданих викладачем.

1. Розрахунки струму I_5 проводять за формулами /3.6/, /3.7/ і /3.8/.

2. Досліди холостого ходу і короткого замикання проводять так: знімають перемичку Π_1 , і вольтметром PV вимірюють напругу між точками B і $Д$; потім, поставивши перемички Π_1 і Π_2 , міліамперметром PA вимірюють струм короткого замикання $I_{к.з.}$. Дані вимірювань заносять до звіту. За цими даними вирахувати $R_{екв}$ (формула 3.12) і порівняти отримані результати.

3. Струм I_5 визначають за формулою /3.6/. Вольтамперну характеристику будують за точками $I_{к.з.}$ і $E_{к.з.}$, як показано на рис. 3.4.

4. Зняти перемичку Π_2 і виміряти струм і напругу. Дані занести в табл. 1. Повторити вимірювання ще для трьох значень R_5 , заданих викладачем. Обчислити величини, вказані в табл. 1.

Таблиця 1

№ з/п	R, Ом	Вимірювання		Обчислення			
		I, А	U, В	I, А	U, В	$\Delta I, А$	$\Delta U, В$
1.							
2.							
3.							
4.							
5							

5. За експериментальними і розрахунковими даними табл. 1 на одному графіку побудувати вольт-амперні характеристики і оцінити похибки.

6. При порівнянні результатів розрахунку струмів у вітці з опором R_5 за істинне значення струму прийняти покази міліамперметра.

The order of work

When assembling the circuit, the scheme of which is shown in Fig. 3.5, use resistors with resistance values specified by the teacher.

1. Current calculations I_5 carried out according to formulas /3.6/, /3.7/ and /3.8/.

2. No-load and short-circuit tests are carried out as follows: remove the jumper Π_1 , and a voltmeter PV measure the voltage between the points B and D ; then, putting the jumpers Π_1 and Π_2 , milliammeter PA measure the short circuit current $I_{k.z.}$. Measurement data are recorded in the report. Based on these data, calculate R_{eq} (formula 3.12) and compare the obtained results.

3. Current I_5 determined by the formula /3.6/. The volt-ampere characteristic is built by points $I_{k.z.}$ and $E_{k.z.}$, as shown in fig. 3.4.

4. Remove the jumper Π_2 and measure current and voltage. Enter the data in the table. 1. Repeat the measurement for three more values R_5 , given by the teacher. Calculate the values indicated in the table. 1.

Table 1

No.	R, Ohm	Measurement		Calculation			
		I, A	U, B	I, A	U, B	ΔI , A	ΔU , B
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

5. According to the experimental and calculated data of the table. 1 plot the current-voltage characteristics on one graph and estimate the errors.

6. When comparing the results of calculating the currents in the circuit with the resistance R_5 accept the readings of the milliammeter as the true value of the current.

3.6. Контрольні запитання

1. Які є методи розрахунку складних електричних кіл?
2. Як здійснюють розрахунок струму методом еквівалентного генератора?
3. У яких випадках доцільно застосувати метод еквівалентного генератора?
4. Чому метод еквівалентного генератора називають ще методом холостого ходу і короткого замикання?
5. Як можна визначити е.р.с. еквівалентного генератора аналітичним шляхом?
6. Як визначити е.р.с. еквівалентного генератора експериментальним шляхом?
7. Як можна вирахувати внутрішній опір еквівалентного генератора?
8. Як визначити внутрішній опір еквівалентного генератора на підставі дослідів?
9. Запишіть і поясніть формулу для визначення струму в опорі методом еквівалентного генератора.
10. Як побудувати вольтамперну характеристику окремої вітки складного електричного кола?

Control questions

1. What are the methods of calculating complex electric circuits?
2. How to calculate the current using the equivalent generator method?
3. In what cases is it appropriate to use the equivalent generator method?
4. Why is the equivalent generator method also called the idling and short circuit method?
5. How can you determine the e.m.f. equivalent generator analytically?
6. How to determine the e.m.f. equivalent generator experimentally?
7. How can you calculate the internal resistance of an equivalent generator?
8. How to determine the internal resistance of an equivalent generator based on experiments?
9. Write down and explain the formula for determining the current in the resistance by the equivalent generator method.
10. How to construct the current-voltage characteristic of a separate branch of a complex electric circuit?