

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

04-03-400M

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №2 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 № 2 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. – 22 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 2. Дослідження впливу навантаження на режими роботи джерела постійного струму. Нелінійні електричні кола

Study of the influence of the load on the operating modes of the direct current source. Nonlinear electric circuits

2.1. Мета роботи

Дослідити вплив навантаження на основні характеристики передачі енергії джерелом постійного струму. Навчитися досліджувати нелінійні електричні кола.

The purpose of the work

To study the impact of the load on the main characteristics of energy transmission by a direct current source. Learn to explore non-linear electrical circuits.

2.2. Короткі теоретичні відомості

Будь-яке електричне коло складається з джерела електричної енергії, споживача та лінії передачі і його можна представити електричною схемою, наведеною на рис.2.1.

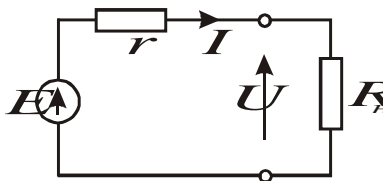


Рис.2.1.

На цій схемі позначено:

E – е.р.с. джерела енергії; r – внутрішній опір цього джерела; R – зовнішній опір електричного кола або опір навантаження. У випадку передачі енергії на значну віддаль опір лінії передачі можна додати до опору r .

На підставі другого закону Кірхгофа можна записати

$$E = I r + U, \quad /2.1/$$

де I – струм у колі; U – напруга на опорі навантаження.

Згідно з законом Ома струм I та напругу U можна виразити так:

$$I = \frac{E}{r + R}, \quad /2.2/$$

$$U = IR = \frac{E}{r + R} R. \quad /2.3/$$

При проходженні струму у колі буде мати місце спад напруги на внутрішньому опорі r , яке ще називають втратою напруги.

Позначивши його ΔU , будемо мати $\Delta U = E - U = I r = \frac{E}{r + R} r$.

Потужність джерела живлення при цьому дорівнює

$$P_1 = EI = \frac{E^2}{r + R}. \quad /2.4/$$

Враховуючи /2.2/, потужність, що виділяється в опорі навантаження,

$$P_2 = IU = I^2 R = \left(\frac{E}{r + R} \right)^2 R \quad \text{або} \quad P_2 = EI - I^2 R \quad /2.5/$$

Рівняння /2.5/ показує, що залежність $P_2 = f(I)$ представляє собою квадратичну параболу, направлену вниз.

Втрата потужності на внутрішньому опорі

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \Delta U \cdot I = I^2 r = \left(\frac{E}{r + R} \right)^2 r. \quad /2.6/$$

Коефіцієнт корисної дії електричного кола

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I^2 R}{I^2 (r + R)} = \frac{R}{r + R}. \quad /2.7/$$

Розглянемо основні режими роботи електричного кола.

Режим холостого (неробочого) ходу. В цьому випадку $R = \infty$ і тому

$$I = 0; U = E; \Delta U = 0; P_1 = P_2 = 0 \text{ і } \Delta P = 0; \eta = 1.$$

Остання рівність пояснюється тим, що при холостому ході відсутні втрати потужності на внутрішньому опорі.

Режим короткого замикання. Коротке замикання має місце при $R = 0$. Для цього режиму

$$I = \frac{E}{r}; U = 0; \Delta U = E; P_1 = I^2 r = \frac{E^2}{r}; P_2 = 0 \text{ і } \Delta P = P_1; \eta = \frac{0}{P_1} = 0.$$

При короткому замиканні струм у колі досягає максимального значення.

Режим узгодженого навантаження. Оскільки у двох розглянутих випадках корисна потужність $P_2 = 0$, то доцільно знайти умову, за якої ця потужність матиме максимальне значення. Зрозуміло, що ця потужність буде залежити від опору R за умови, що е.р.с. E і внутрішній опір r будемо вважати незмінними.

З цією метою з рівняння /4.5/ визначимо похідну $\frac{dP_2}{dR}$ і прирівнюємо її до нуля:

$$\frac{dP_2}{dR} = E^2 \frac{d}{dR} \cdot \frac{R}{(r+R)^2} = E^2 \frac{(r+R)^2 - 2R(r+R)}{(r+R)^4} = 0$$

або
$$(r+R)^2 - 2R(r+R) = 0.$$

Звідки виходить, що $R = r$.

Отже, потужність, що виділяється у зовнішньому навантаженні буде максимальною, коли опір навантаження R дорівнює внутрішньому опорі джерела.

Такий режим роботи називають узгодженим режимом або режимом узгодженого навантаження.

Очевидно, в цьому випадку будемо мати:

$$I = \frac{E}{2r}; U = \frac{E}{2}; \Delta U = \frac{E}{2}; P_1 = \frac{E^2}{2r};$$

$$P_2 = P_{2max} = \frac{E^2}{4r}; \Delta P = \frac{E^2}{4r} \text{ і } \eta = 0,5.$$

Режим узгодженого навантаження використовують у тих випадках, коли необхідно забезпечити максимально можливе значення вихідної потужності, не звертаючи увагу на величину к.к.д.

Такі режими роботи бувають доцільними в електронних пристроях, для яких характерні невеликі рівні потужності. Електричні системи великої потужності, наприклад, системи енергопостачання, працюють в режимі, близькому до режиму холостого ходу, що забезпечує їх високий к.к.д.

Графіки зміни E , U , ΔU , P_1 , P_2 , ΔP і η в залежності від струму I , тобто від режиму роботи, зображені на рис.2.2.

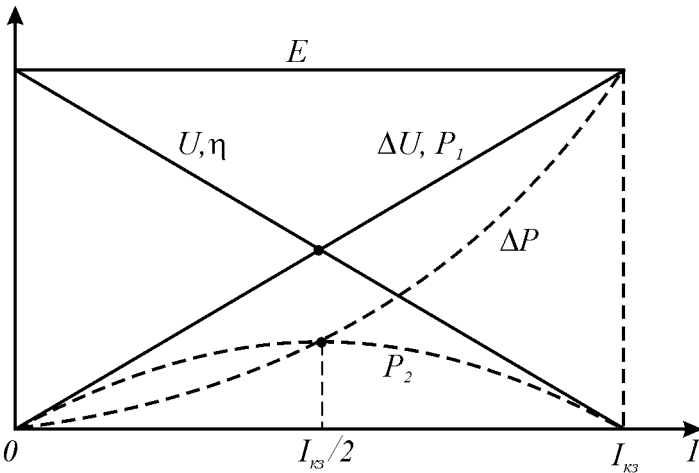


Рис.2.2.

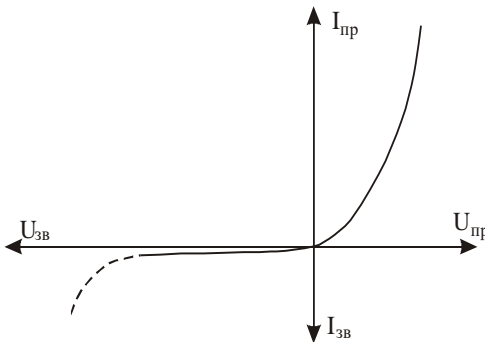
Електричні кола постійного струму, окрім лінійних елементів, часто мають і нелінійні елементи. Кола, які складаються з лінійних і нелінійних елементів, називаються нелінійними колами. На ділянці кола з нелінійним елементом не виконується закон Ома, бо залежність

струму від прикладеної напруги є нелінійною. Крива, яка відображає залежність струму від напруги, називається вольтамперною характеристикою $I = f(U)$.

Вольтамперною характеристикою лінійного елемента, наприклад, резистора, є пряма лінія, а нелінійного - крива. Характер нелінійності вольтамперної характеристики різних нелінійних елементів різний. Він залежить від природи нелінійного елемента. Нелінійні елементи створювали для того, щоби реалізувати процеси, які не можуть відбуватися в лінійних колах. Зокрема, вони дають змогу стабілізувати в певних межах напругу чи струм, їх підсилювати, а також змінювати їх за бажаними нелінійними законами тощо.

Нелінійні елементи поділяються на некеровані і керовані. В некерованих елементах (діоди, баретори, стабілітрони тощо) опори однозначно визначає вольтамперна характеристика, а в керованих (транзистори, тиристри та інші) сама вольтамперна характеристика залежить від величини керуючого впливу. Окрім того, вольтамперні характеристики нелінійних елементів бувають симетричними і несиметричними відносно початку координат.

На рис.2.3 наведена вольтамперна характеристика напівпровідникового діода, із якої видно, що величина опору залежить як від величини напруги, так і від її полярності і буде



різною. Така характеристика є несиметричною. При розрахунку нелінійних кіл вводять поняття статичного $R_{ст}$ і динамічного $R_{д}$ опорів. Статичним опором нелінійного елемента у будь-якій точці вольт амперної характеристики називають

Рис. 2.3

опір, який вираховують за законом Ома

$$R_{cm} = \frac{U}{I}. \quad /2.8/$$

Динамічним опором нелінійного елемента є похідна напруги за струмом в даній точці, тобто

$$R_o = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I}. \quad /2.9/$$

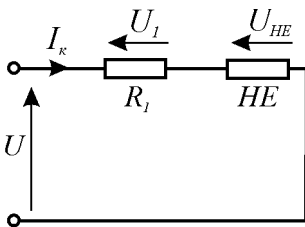
Отже, динамічний опір кількісно визначає нахил вольтамперної характеристики і він буде дорівнювати котангенсу кута нахилу дотичної до осі абсцис в даній точці характеристики. Чим більше кривизна вольтамперної характеристики, тим більше відрізняється динамічний опір нелінійного елемента від статичного.

Розрахунок нелінійних електричних кіл можна вести аналітичним і графічним методами. Аналітичні методи є складними і громіздкими. Якщо відома вольтамперна характеристика нелінійного елемента, то використовують метод графічного розрахунку.

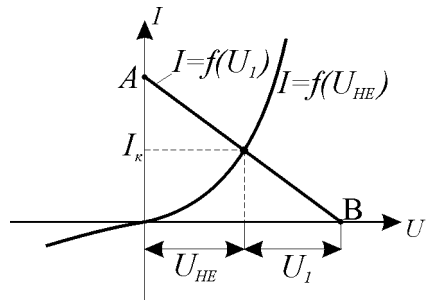
При послідовному з'єднанні лінійного (R_l) і нелінійного (HE) опорів (рис.2.4, а), на які подана напруга U , завжди справедлива рівність

$$U = U_l + U_{HE}, \quad /2.10/$$

де U_l і U_{HE} - спади напруг на лінійному і нелінійному опорах



а).



б).

Рис.2.4

Розрахувати нелінійне електричне коло наведено на рис. 2.4,а, це значить за відомими напругою живлення U , опором R_1 і вольтамперною характеристикою $I = f(U_{HE})$ визначити струм у колі I і спади напруг на лінійному U_1 і нелінійному U_{HE} елементах. Щоби виконати ці розрахунки графічним методом, необхідно на графіку $I = f(U_{HE})$ побудувати у тому ж масштабі залежність між струмом у колі і спадом напруги на лінійному елементі $I = f(U_1)$. Цю залежність можна представити так:

$$I = \frac{U - U_{HE}}{R_1} = \frac{U}{R_1} - \frac{U_{HE}}{R_1} \quad /2.11/$$

Залежність /2.11/ є лінійною і її будують за двома точками:

- при $U_{HE} = 0$ згідно /2.11/ $I = \frac{U}{R_1}$ (точка A на рис. 2.4,б);

- при $I = 0$ $U = U_{HE}$ (точка B на рис. 2.4, б).

З'єднавши ці точки, одержимо залежність $I = f(U_1)$. Точка перетину прямої AB з вольтамперною характеристикою $I = f(U_{HE})$ визначає струм у колі I і спади напруг U_1 і U_{HE} .

Розглянутий метод розрахунку нелінійного кола не є єдиним. Цей же розрахунок можна було б здійснити, склавши вольтамперні характеристики лінійного і нелінійного елементів. В результаті одержали б вольтамперну характеристику нелінійного кола, з якої за напругою живлення визначили би графічно струм і спади напруг. Але побудувати вольтамперну характеристику кола більш складно, ніж лінійну залежність $I = f(U_1)$.

Якщо в послідовному колі є лінійний і декілька нелінійних елементів, то склавши вольтамперні характеристики нелінійних елементів, отримують еквівалентну вольтамперну характеристику нелінійної частини кола $I = f(U_{екв})$. За відомими $I = f(U_{екв})$ і напругою U розраховують розглянутим графічним методом струм і спади напруг, бо $U_{екв} = U_{1HE} + U_{2HE} + \dots$.

При паралельному з'єднанні лінійного і нелінійного елементів струм в лінійному елементі вираховують за законом Ома, а в

нелінійному - за вольтамперною характеристикою. Струм в нерозгалуженій частині кола буде дорівнювати сумі цих струмів.

Розглянуті методи придатні і для розрахунків нелінійних кіл зі змішаним з'єднанням елементів.

Brief theoretical information

Any electrical circuit consists of a source of electrical energy, a consumer, and a transmission line and can be represented by the electrical circuit shown in Fig. 2.1.

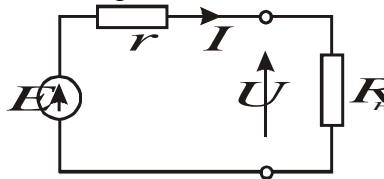


Fig.2.1.

This diagram shows:

E - e.m.f. energy sources; r is the internal resistance of this source; R is the external resistance of the electric circuit or load resistance. In the case of energy transmission over a considerable distance, the resistance of the transmission line can be added to the resistance r .

On the basis of Kirchhoff's second law, we can write

$$E = I r + U, \quad /2.1/$$

where I is the current in the circuit; U is the voltage at the load resistance.

According to Ohm's law, current I and voltage U can be expressed as follows:

$$I = \frac{E}{r + R}, \quad /2.2/$$

$$U = IR = \frac{E}{r + R} R. \quad /2.3/$$

When current flows in the circuit, there will be a voltage drop across the internal resistance r , which is also called voltage loss.

Marking it ΔU , we will have $\Delta U = E - U = Ir = \frac{E}{r + R}r$.

At the same time, the power of the power source is equal

$$P_1 = EI = \frac{E^2}{r + R}. \quad /2.4/$$

Considering /2.2/, the power released in the load resistance,

$$P_2 = IU = I^2R = \left(\frac{E}{r + R}\right)^2 R \quad \text{або} \quad P_2 = EI - I^2R \quad /2.5/$$

Equation /2.5/ shows that the dependence is a quadratic parabola directed downward.

Loss of power on the internal resistance

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \Delta U \cdot I = I^2r = \left(\frac{E}{r + R}\right)^2 r. \quad /2.6/$$

Efficiency coefficient of an electric circuit

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I^2R}{I^2(r + R)} = \frac{R}{r + R}. \quad /2.7/$$

Let's consider the main modes of operation of an electric circuit.

Idle mode. In this case $R = \infty$, that's why

$I = 0$; $U = E$; $\Delta U = 0$; $P_1 = P_2 = 0$ and $\Delta P = 0$; $\eta = 1$.

The last equality is explained by the fact that there are no power losses on the internal resistance during idling.

Short circuit mode. A short circuit occurs when $R = 0$. For this mode

$I = \frac{E}{r}$; $U = 0$; $\Delta U = E$; $P_1 = I^2r = \frac{E^2}{r}$; $P_2 = 0$ i $\Delta P = P_1$; $\eta = \frac{0}{P_1} = 0$.

With a short circuit, the current in the circuit reaches its maximum value.

Coordinated load mode. Since in the two cases considered, the useful power $P_2 = 0$, then it is advisable to find the condition under which this power will have the maximum value. It is clear that this power will depend

on the resistance R provided that the e.r.s. E and internal resistance r will be considered unchanged.

For this purpose, we will determine the derivative from equation /2.5/ $\frac{dP_2}{dR}$ and equate it to zero:

$$\frac{dP_2}{dR} = E^2 \frac{d}{dR} \cdot \frac{R}{(r+R)^2} = E^2 \frac{(r+R)^2 - 2R(r+R)}{(r+R)^4} = 0$$

or $(r+R)^2 - 2R(r+R) = 0$.

Where does that come from $R = r$.

Therefore, the power released in the external load will be maximum when the resistance of the load is equal to the internal resistance of the source.

This mode of operation is called the agreed mode or the agreed load mode.

Obviously, in this case we will have:

$$I = \frac{E}{2r}; U = \frac{E}{2}; \Delta U = \frac{E}{2}; P_1 = \frac{E^2}{2r};$$

$$P_2 = P_{2max} = \frac{E^2}{4r}; \Delta P = \frac{E^2}{4r} \text{ i } \eta = 0,5.$$

The coordinated load mode is used in those cases when it is necessary to ensure the maximum possible value of the output power, without paying attention to the value of the efficiency.

Such modes of operation are appropriate in electronic devices that are characterized by small power levels. High-power electrical systems, for example, power supply systems, operate in a mode close to the idling mode, which ensures their high efficiency.

Shift schedules E , U , ΔU , P_1 , P_2 , ΔP and η depending on the current I , that is, from the operating mode, shown in Fig. 2.2.

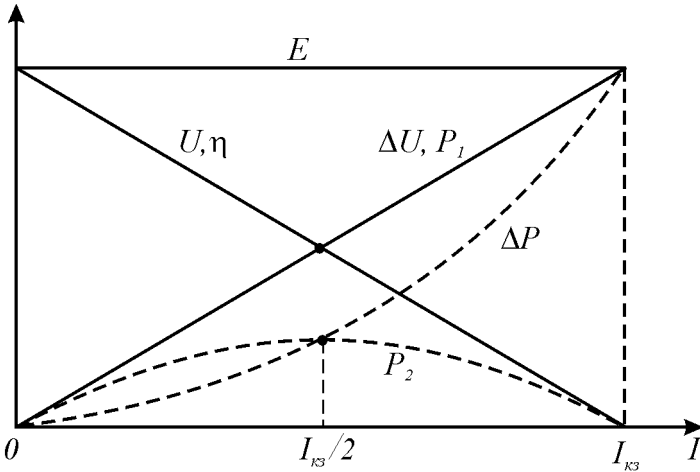


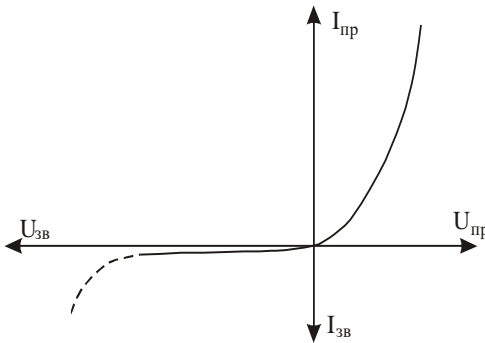
Fig.2.2.

DC electric circuits, in addition to linear elements, often have non-linear elements. Circuits that consist of linear and non-linear elements are called non-linear circuits. Ohm's law is not fulfilled in the section of the circuit with a non-linear element, because the dependence of the current on the applied voltage is non-linear. The curve that reflects the dependence of current on voltage is called the current-voltage characteristic $I = f(U)$.

The volt-ampere characteristic of a linear element, for example, a resistor, is a straight line, and a nonlinear one is a curve. The nature of the non-linearity of the current-voltage characteristic of different non-linear elements is different. It depends on the nature of the nonlinear element. Non-linear elements were created in order to implement processes that cannot occur in linear circuits. In particular, they make it possible to stabilize the voltage or current within certain limits, to amplify them, as well as to change them according to the desired nonlinear laws, etc.

Nonlinear elements are divided into uncontrolled and controlled. In non-controlled elements (diodes, varistors, zener diodes, etc.), the resistance is uniquely determined by the current-voltage characteristic, and in controlled ones (transistors, thyristors, etc.), the current-current characteristic itself depends on the magnitude of the control effect. In addition, the current-voltage characteristics of nonlinear elements are symmetrical and asymmetrical with respect to the origin of coordinates.

Fig. 2.3 shows the current-voltage characteristic of a semiconductor diode, from which it can be seen that the value of the resistance depends both on the value of the voltage and on its polarity and will be different.



Such a characteristic is non-symmetrical. When calculating non-linear circuits, the concepts of static Rct and dynamic Rd resistances are introduced. The static resistance of a non-linear element at any point of the volt-ampere characteristic is called resistance, which is

Fig. 4.3

calculated according to Ohm's law

$$R_{cm} = \frac{U}{I} . \quad /2.8/$$

The dynamic resistance of a nonlinear element is the derivative of the voltage with respect to the current at a given point, i.e

$$R_{\partial} = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} . \quad /2.9/$$

Therefore, the dynamic resistance quantitatively determines the slope of the current-voltage characteristic and it will be equal to the cotangent of the angle of inclination of the tangent to the abscissa axis at a given point of the characteristic. The greater the curvature of the current-voltage characteristic, the more the dynamic resistance of the nonlinear element differs from the static one.

The calculation of nonlinear electric circuits can be carried out by analytical and graphical methods. Analytical methods are complex and cumbersome. If the current-voltage characteristic of the nonlinear element is known, then the graphical calculation method is used.

When connecting the linear in series (R_l) and non-linear (HE) resistances (Fig. 2.4, a) to which the voltage is applied U , equality is always fair

$$U = U_l + U_{HE}, \quad /2.10/$$

where U_l i U_{HE} - voltage drops on linear and non-linear resistances

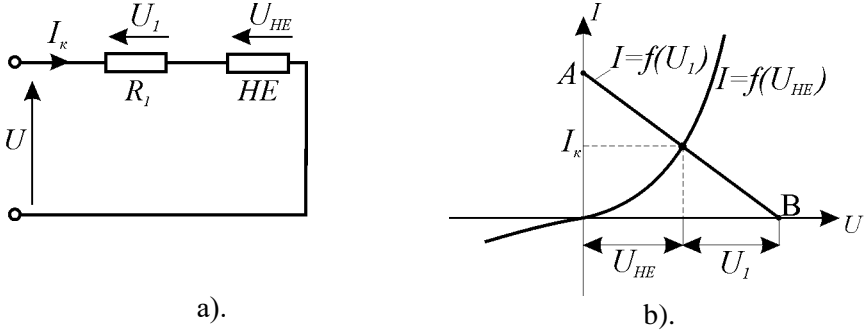


Fig.2.4

Calculate the nonlinear electric circuit shown in Fig.2.4a, and, this means according to the known supply voltage U , resistance R_l and voltage-current characteristic $I = f(U_{HE})$ determine the current in the circuit I i voltage drops on the linear U_l and non-linear U_{HE} elements. To perform these calculations graphically, you need a graph $I = f(U_{HE})$ plot the dependence between the current in the circuit and the voltage drop on the linear element on the same scale $I = f(U_l)$. This dependence can be represented as follows:

$$I = \frac{U - U_{HE}}{R_l} = \frac{U}{R_l} - \frac{U_{HE}}{R_l} \quad /2.11/$$

The dependence /2.11/ is linear and it is constructed according to two points:

- at $U_{HE} = 0$ according to /2.11/ $I = \frac{U}{R_l}$ (point A on fig. 2.4,b);
- at $I = 0$ $U = U_{HE}$ (point B on fig. 2.4, b).

By connecting these points, we get a dependency $I = f(U_l)$. The point of intersection of the line AB with the current-voltage characteristic

$I = f(U_{HE})$ determines the current in the circuit and voltage drops U_1 і U_{HE} .

The considered method of calculating a non-linear circle is not the only one. The same calculation could be carried out by adding up the current-voltage characteristics of linear and non-linear elements. As a result, the volt-ampere characteristic of the nonlinear circuit would be obtained, from which the current and voltage drops would be graphically determined based on the supply voltage. But it is more difficult to construct a voltage-current characteristic of a circuit than a linear dependence $I = f(U_1)$.

If there are linear and several non-linear elements in a series circuit, then by adding up the current-voltage characteristics of the non-linear elements, the equivalent current-voltage characteristic of the non-linear part of the circuit is obtained $I = f(U_{екв})$. According to known $I = f(U_{екв})$ and voltage U calculate the current and voltage drops using the considered graphical method, for $U_{екв} = U_{1HE} + U_{2HE} + \dots$.

When linear and non-linear elements are connected in parallel, the current in the linear element is calculated according to Ohm's law, and in the non-linear element - according to the current-voltage characteristic. The current in the unbranched part of the circuit will be equal to the sum of these currents.

The considered methods are also suitable for calculating nonlinear circles with a mixed connection of elements.

2.3. Програма роботи

1. Провести вимірювання напруги і струму при зміні навантаження R_n в межах $\infty \dots 0$.
2. За даними вимірювань і обчислень побудувати на одному графіку залежності E , U , ΔU , P_1 , P_2 , ΔP і $\eta = f(I)$.
3. Зняти вольтамперну характеристику нелінійного елемента і побудувати графік $R_{cm} = f(U)$.
4. Визначити струм у нелінійному колі і спади напруг на лінійному і нелінійному елементах.

Work program

1. Measure the voltage and current when the load changes R_n within $\infty \dots 0$.
2. Based on the data of measurements and calculations, plot dependencies on one graph $E, U, \Delta U, P_1, P_2, \Delta P$ і $\eta = f(I)$.
3. Take the current-voltage characteristic of the nonlinear element and draw a graph $R_{cm} = f(U)$.
4. Determine the current in a non-linear circuit and voltage drops on linear and non-linear elements.

2.4. Опис лабораторної установки

Для виконання лабораторної роботи використовується обладнання і вимірювальні прилади лабораторного стенда УИЛС. На набірному полі стенда скласти електричне коло, схема якого наведена на рис. 2.5.

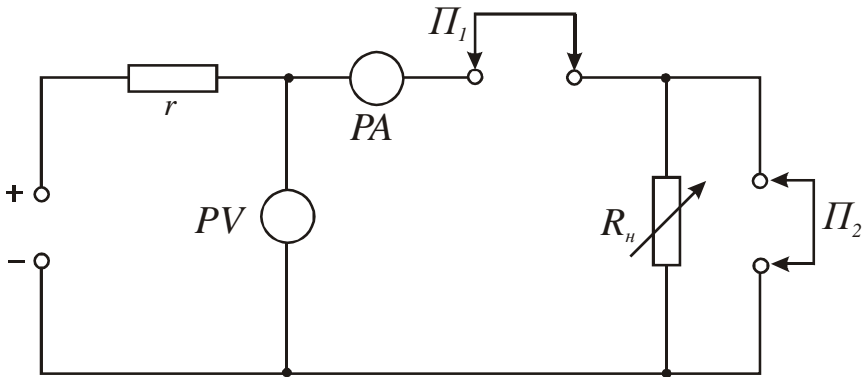


Рис.2.5

Напругу на вході кола, яка приймається рівною е.р.с. E , беруть від джерела живлення на стенді. Її величину за вказівкою викладача виставляють в межах 10...20 В поворотанням ручки “Напряжение”. Опір r , що моделює внутрішній опір генератора, слід взяти рівним 51 Ом або 75 Ом. В якості опору навантаження R_n використовують магазин опорів, що розташований у верхній правій частині стенда. Приладами PV і PA є цифрові прилади із комплекту стенда.

Description of the laboratory stand

To perform laboratory work, the equipment and measuring devices of the ULS laboratory stand are used.

On the recruiting field of the stand, make an electric circuit, the diagram of which is shown in fig. 2.5.

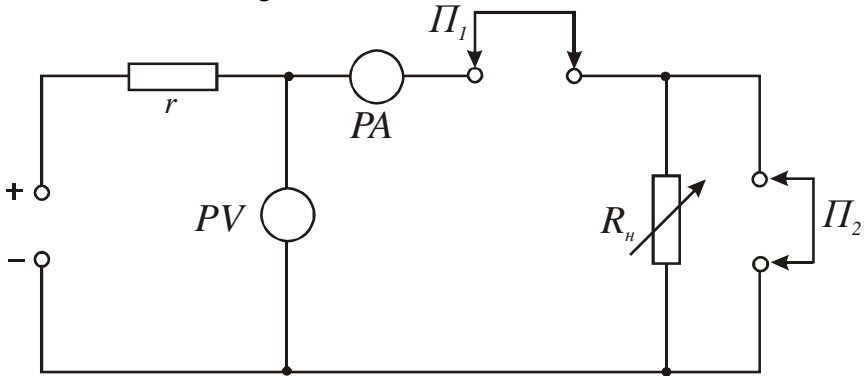


Fig.2.5

The voltage at the circuit input, which is assumed to be equal to the E.M.F. E , taken from the power source on the stand. According to the instruction of the teacher, its value is set within the limits 10...20 V by turning the “Voltage” knob. The resistance r , simulating the internal resistance of the generator, should be taken equal 51 Ohm або 75 Ohm. As load resistance R_n use the resistance store, which is located in the upper right part of the stand. Devices PV і PA there are digital devices from the set of the stand.

2.5. Порядок виконання роботи

1. Для дослідження впливу навантаження на режими роботи електричного кола необхідно:

- зібрати електричне коло згідно зі схемою рис.2.5;
- розімкнути перемичку Π_1 і виставити напругу, задану викладачем. Під час дослідів необхідно стежити, щоби напруга живлення не змінювалась;
- записати покази приладів для режиму холостого ходу в табл.1;
- створити режим короткого замикання, поставивши перемички

P_1 і P_2 , і записати покази приладів;

– знявши перемичку P_2 , під'єднати до джерела опір навантаження R_n ;

– змінюючи дискретно за допомогою ручки величину опору R_n , записати до табл.1 покази вольметра для струмів 0,2; 0,4; 0,5; 0,6 і 0,8 $I_{кз}$. При цьому поточніше виявити режим узгодженого навантаження;

2. Виконати обчислення величин, вказаних в правій частині табл.1, і на одному графіку побудувати залежності E , U , ΔU , P_1 , P_2 , ΔP і $\eta = f(I)$.

Таблиця 1

№ з/п	Режим роботи	Вимірювання			Обчислення						
		E, B	I, A	U, B	$r, Ом$	$R_n, Ом$	$\Delta U, B$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$\Delta P, Вт$	$\eta, \%$
1.	Хол.хід					∞					
2.											
3.											
4.	Узг.навант.										
5.											
6.											
7.	КЗ					0					

3. Для зняття вольтамперної характеристики нелінійного елемента (діода), опір R_n в схемі рис.2.5 замінити діодом, опір r збільшити до величини, яка буде відповідати номінальному струму діода при $U = 20$ В. Змінюючи напругу в межах 0...20 В, зняти 5-6 точок характеристики при прямому увімкненні діода. Після зняти також 5-6 точок характеристики при зворотному включенні діода. Результати вимірювань занести в табл.2. За даними вимірювань і обчислень побудувати на одному графіку залежності $I = f(U_{HE})$ і $R_{ст} = f(U_{HE})$.

Таблиця 2

U_{HE}, B						
I, mA						
$R_{ст}, Ом$						

4. Щоби виконати розрахунок нелінійного електричного кола графічним методом, треба на графіку вольтамперної характеристики діода побудувати залежність $I = f(U_I)$ для $U = 10$ В і визначити струм і падіння напруг на лінійному і нелінійному елементах. Результати порівняти з експериментальними даними.

The order of work

1. To study the influence of the load on the operating modes of the electric circuit, it is necessary:

- assemble the electric circuit according to the scheme of Fig. 2.5;
- open jumper II_1 and set the voltage specified by the teacher. During experiments, it is necessary to ensure that the supply voltage does not change;
- record the readings of the devices for the idling mode in table 1;
- create a short-circuit mode by placing jumpers II_1 and II_2 , and record the readings of the devices;
- by removing the jumper II_2 , connect the load resistance to the source R_H ;
- changing the resistance value discretely with the help of a knob R_H , record the readings of the voltmeter for currents in table 1 0,2; 0,4; 0,5; 0,6 and 0,8 $I_{кз}$. At the same time, it is more accurate to identify the agreed load mode;

2. Calculate the values indicated in the right part of table 1, and plot dependencies on one graph $E, U, \Delta U, P_1, P_2, \Delta P$ and $\eta = f(I)$.

Table 1

№	Mode of operation	Measurement			Calculation						
		E, V	I, A	U, V	r, Oh m	R_H, Oh m	$\Delta U, V$	P_1, Wt	P_2, Wt	$\Delta P, Wt$	$\eta, \%$
1.	Idling					∞					
2.											
3.											
4.	Coordinated load										

5.											
6.											
7.	Short circuit					0					

3. To get the current-voltage characteristic of a non-linear element (diode), resistance R_H in the scheme of fig 2.5, replace the resistor with a diode r increase to a value that will correspond to the nominal current of the diode at $U = 20$ B. By varying the voltage within 0...20 B, withdraw 5-6 characteristic points when the diode is turned on directly. After that, also remove 5-6 points of the characteristic when the diode is turned back on. The results of the measurements are listed in Table 2. According to the data of measurements and calculations, plot the dependencies on one graph $I = f(U_{HE})$ і $R_{cm} = f(U_{HE})$.

Table 2

U_{HE}, V						
I, mA						
R_{cm}, Ohm						

4. In order to perform the calculation of a nonlinear electric circuit by a graphical method, it is necessary to plot the dependence on the graph of the current-voltage characteristic of the diode $I = f(U_I)$ for $U = 10$ B and determine the current and voltage drop on linear and non-linear elements. Compare the results with experimental data.

2.6. Контрольні запитання

1. Поясніть особливості роботи електричного кола у випадках:
 - а) холостого ходу;
 - б) короткого замикання;
 - в) узгодженого навантаження.
2. В якому режимі і чому к.к.д. має максимальне значення?
3. Що можна сказати про доцільність роботи в режимі узгодженого навантаження?
4. Дайте пояснення графіків, побудованих на основі результатів вимірювань і обчислень.

5. При якому струмі перетинаються графіки $\Delta P = f(I)$ і $P_2 = f(I)$?
6. Чому системи енергопостачання працюють в режимі, близькому до режиму холостого ходу?
7. Чому буде дорівнювати к.к.д., якщо $r = 0,5R$?
8. Яке коло називається нелінійним?
9. Якими методами розраховують нелінійні електричні кола?
10. Як розраховують електричні кола, до складу яких входять лінійний і декілька нелінійних елементів, з'єднаних послідовно?

Control questions

1. Explain the features of the electric circuit in the following cases:
 - a) idling;
 - b) short circuit;
 - c) agreed load.
2. In what mode and why Coefficient of efficiency. has a maximum value?
3. What can be said about the expediency of working in the coordinated load mode?
4. Give an explanation of the graphs built on the basis of the results of measurements and calculations.
5. At what current do the graphs intersect $\Delta P = f(I)$ і $P_2 = f(I)$?
6. Why do power supply systems operate in a mode close to the idle mode?
7. Why will be equal to Coefficient of efficiency., if $r = 0,5R$?
8. Which circle is called non-linear?
9. What methods are used to calculate nonlinear electrical circuits?
10. How are electric circuits calculated, which include linear and several non-linear elements connected in series?