

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНОГО КОЛА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: ознайомитися з нелінійними опорами різних типів; навчитися знімати і будувати вольт-амперні характеристики; експериментально перевірити графічний метод розрахунку простого нелінійного кола.

#### 2.1. Теоретичні відомості.

До складу електричних кіл часто входять такі елементи, в яких струм не пропорційний напрузі, тобто для таких елементів закон Ома не виконується. Такі кола називають нелінійними.

При розрахунку нелінійних кіл, а також для визначення характеру нелінійності користуються вольт-амперними характеристиками (ВАХ).

Вольт-амперною характеристикою називають залежність струму, який проходить через опір, від напруги на цьому опорі:  $I = f(U)$ . Цю залежність визначають експериментально за допомогою амперметра та вольтметра або обчислюють аналітично. Вольт-амперні характеристики зображують у вигляді графіків.

Опори, вольт-амперні характеристики яких є прямими лініями, називають лінійними, а електричні кола, які містять лінійні опори, називають лінійними електричними колами. Опори називають нелінійними, коли їх вольт-амперні характеристики не є прямими (рис.2.1). Коло, до складу якого входить хоча б один нелінійний опір, називають нелінійним. На рис.2.1. показані приклади вольт-амперних характеристик деяких елементів кола.

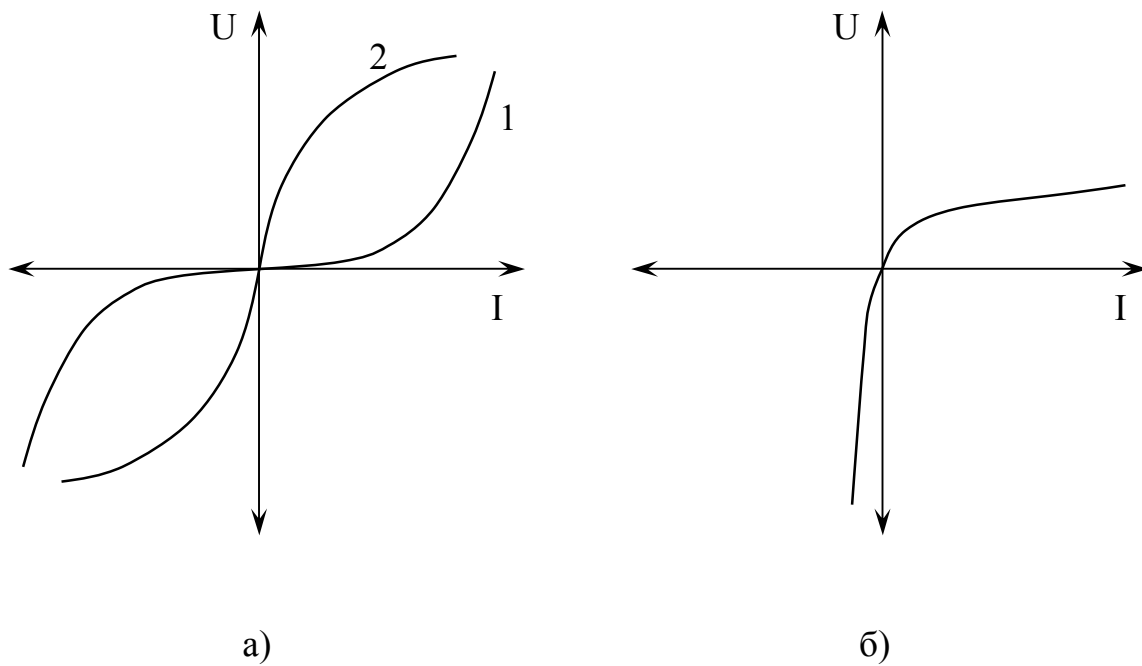


Рис.2.1.

Вольт-амперні характеристики типу 1 (рис.2.1,а) мають лампи розжарювання з металевією ниткою. Із збільшенням струму нитка лампи розжарюється сильніше і її опір і напруга збільшуються. Вольт-амперна характеристика типу 2 (рис.2.1,а) властива лампі з вугільним волоском. Вольт-амперна характеристика, зображена на рис.2.1,б властива деяким напівпровідниковим випрямлячам.

Властивості нелінійного опору можуть бути охарактеризовані або його ВАХ або його статичним чи динамічним опорами. Статичний опір  $R_{\text{ст}}$  характеризує поведінку нелінійного опору в режимі незмінного струму. Він дорівнює відношенню напруги на нелінійному опорі до струму, який протікає через цей опір:  $R_{\text{ст}} = U/I$ . На рис.2.2 показана ВАХ нелінійного елемента, побудована в масштабах для струму  $m_i$  та для напруги  $m_u$ . Припустимо, що робочий режим елемента заданий точкою А. Відношення на-

пруги, що визначається відрізком АВ, до струму, який визначається відрізком ОВ, визначає в деякому масштабі  $m_{cm} = m_u/m_i$  статичний опір  $R_{cm}$  в точці А. З рис.2.2 видно, що статичний опір чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу прямої, яка проведена з початку координат у робочу точку характеристики, який помножений на відношення масштабів по осям:

$$R_{cm} = \frac{m_u}{m_i} \operatorname{tg}\alpha.$$

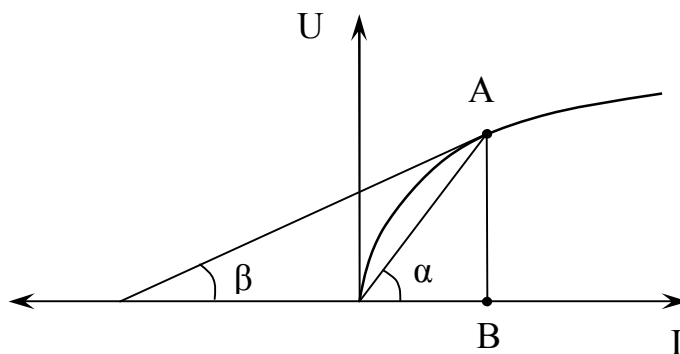


рис.2.2

Під диференціальним опором  $R_d$  розуміють відношення малого (теоретично нескінченно малого) приросту напруги  $dU$  на нелінійному опорі до відповідного приросту струму  $dI$ :  $R_d = dU/dI$ .  $R_d$  чисельно дорівнює тангенсу кута  $\beta$  нахилу дотичної до ВАХ в робочій точці, помноженому на відношення масштабів по осям:

$$R_d = \frac{m_u}{m_i} \operatorname{tg}\beta.$$

Диференціальний опір характеризує поведінку нелінійного опорі при досить малих відхиленнях від попереднього стану.

У нелінійному електричному колі, так як і в лінійному, усі процеси описуються за допомогою першого та другого законів Кірхгофа. Відповідно і правила складання цих рівнянь однакові для лінійних та нелінійних електричних кіл. Проте у випадку нелінійних кіл рівняння є нелінійними і методи їх розрахунку мають свою специфіку. Для аналітичного розв'язання необхідне аналітичне завдання характеристик усіх нелінійних елементів кола. Аналітичний розв'язок навіть для невеликої кількості у колі нелінійних елементів є досить складним; у загальному випадку він можливий за допомогою чисельних методів, які дають приблизний результат. До того ж, аналітичний розрахунок нелінійних кіл ускладнюється тим, що закон Ома, який зумовлює пропорційність між струмом і напругою (лінійність) у нелінійних колах не діє. Тому представляють інтерес графічні та графоаналітичні методи розрахунку нелінійних кіл, в яких використовуються ВАХ нелінійних елементів, одержаних в ході експерименту, і заданих у вигляді графіків або таблиць. Графіки повинні бути виконані так, щоб вони задовольняли основним рівнянням кола. Наприклад, для послідовного з'єднання трьох опорів  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ , вольт-амперні яких показані на рис.2.3, можна записати:

$$I = I_1 = I_2 = I_3, \quad U = U_1 + U_2 + U_3,$$

де  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  – струм відповідно на опорах  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ ,

$U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  – напруга відповідно на опорах  $R_1$ ,  $R_2$  і  $R_3$ ,

$I$  – загальний струм,

$U$  – загальна напруга.

Цим рівнянням відповідають графіки на рис 2.3, які придатні для графічних розрахунків з метою визначення струмів і напруг на різних опорах при різних напругах  $U$ .

Отже, при послідовному з'єднанні результуючу вольт-амперну характеристику всього кола знаходять складанням напруг-абсцис характеристик окремих опорів. За допомогою такої побудови можна знайти напруги  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  і струм  $I$  при загальній напрузі  $U$ .

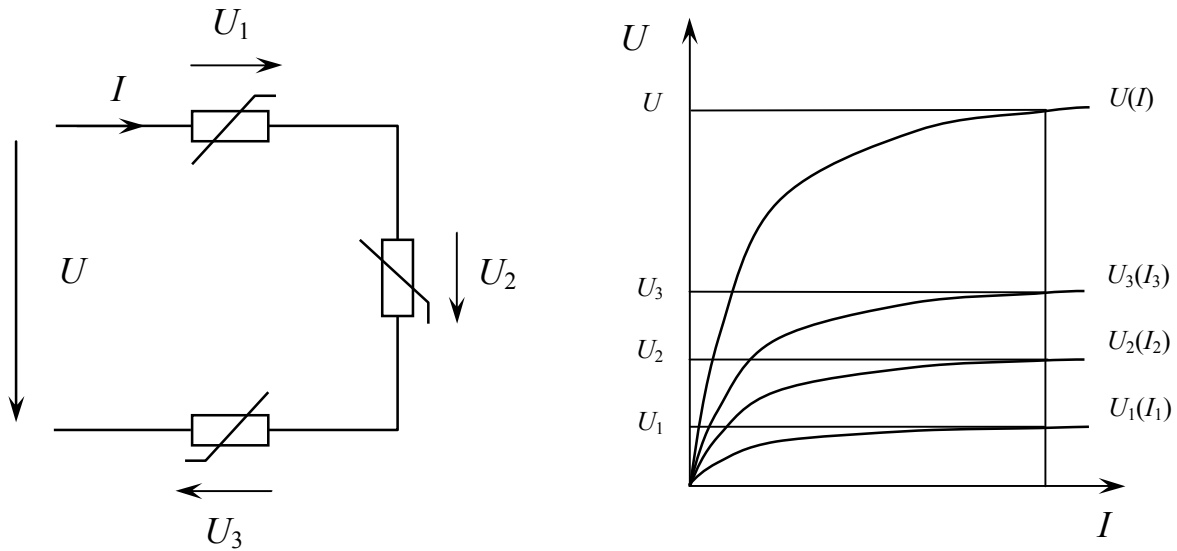


Рис.2.3

Для паралельного з'єднання тих самих опорів  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  (рис.2.4) можна записати:  $U = U_1 = U_2 = U_3$ ,  $I = I_1 + I_2 + I_3$

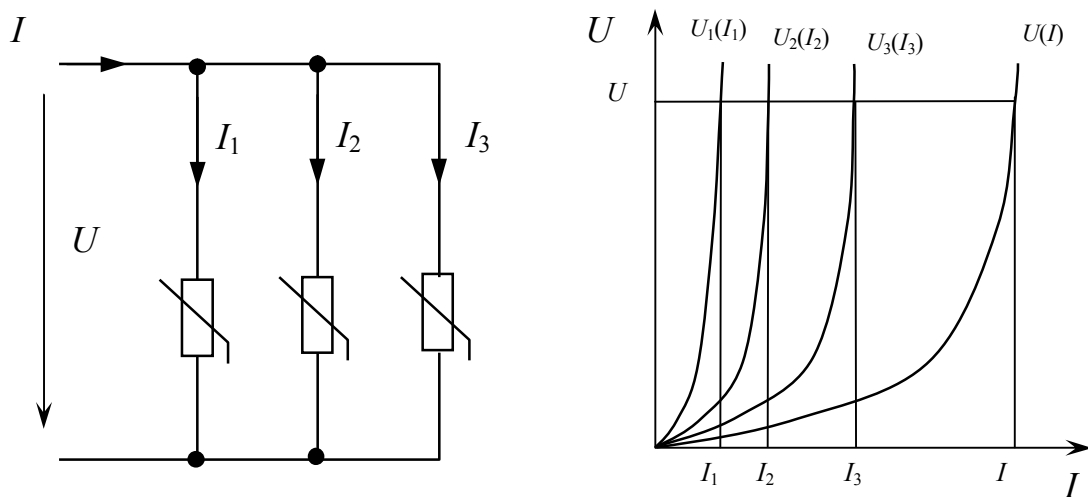


Рис.2.4

Отже, при паралельному з'єднанні результуючу вольт-амперну характеристику всього кола знаходять складанням струмів-ординат характеристик окремих опорів. За допомогою такої побудови можна обчислити струми  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  при заданій напрузі  $U$ .

Для змішаного з'єднання цих опорів (опори  $R_2$  і  $R_3$  з'єднані паралельно,  $R_1$  приєднано до них послідовно) спочатку знаходять результуючу вольт-амперну характеристику паралельно з'єднаних елементів, а потім розглядають коло як послідовне (рис.2.5).

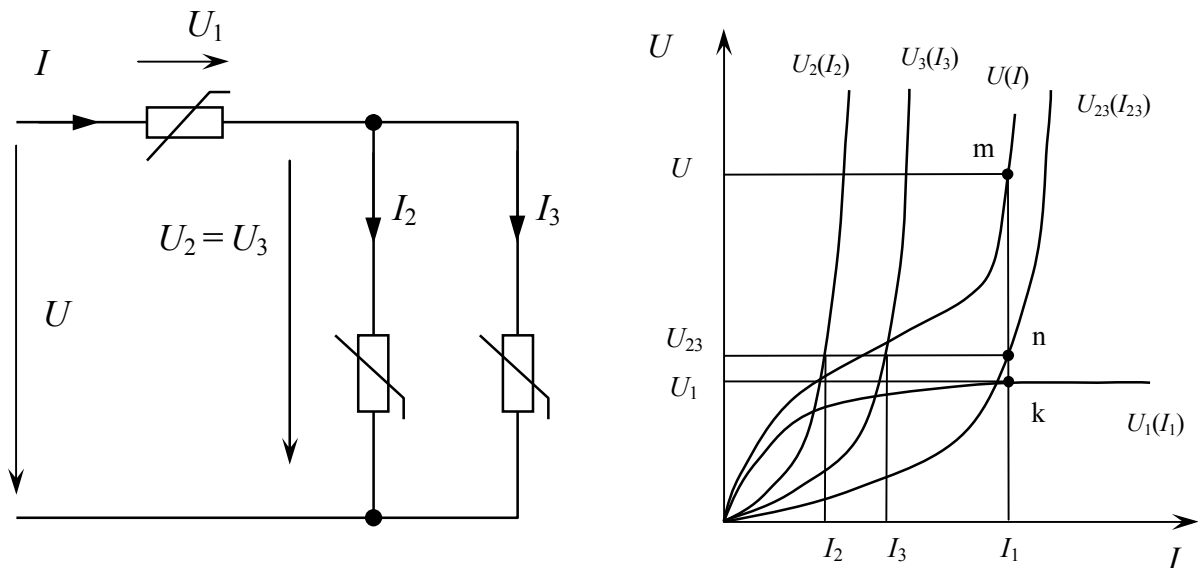


Рис.2.5.

Струми і напруги в такому колі при заданій вхідній напрузі  $U$  розраховують таким чином. По вісі  $U$  відкладають значення вхідної напруги  $U$  і через цю точку проводять пряму, паралельну вісі  $I$ , до перетину з ВАХ усього кола  $U(I)$  у точці  $m$ . Через точку  $m$  проводять пряму паралельну вісі  $U$ . Ордината точки перетину  $k$  цієї прямої з ВАХ першого елеме-

нту  $U_1(I_1)$  дорівнює у масштабі напруг значенню  $U_1$ . Ордината точки перетину  $n$  цієї прямої з результуючою ВАХ паралельної ділянки  $U_{23}(I)$  дорівнює у масштабі напруг значенню напруги на паралельній ділянці  $U_{23}$ .

На вісі  $I$  ця пряма покаже значення струму у нерозгалуженій частині кола  $I_1$ . Знаючи напругу на паралельній ділянці, визначити струми  $I_2$  і  $I_3$  неважко, для чого через точку  $n$  слід провести пряму, паралельну вісі струмів  $I$ . Абсциси точок перетину цієї прямої з ВАХ  $U_2(I_2)$  і  $U_3(I_3)$  у масштабі струмів дорівнюють відповідно  $I_2$  і  $I_3$ .

## 2.2. Порядок виконання роботи

1 Зняти ВАХ трьох елементів:

1.1 зібрати коло, показане на рис.2.6;

1.2 поступово збільшуючи напругу джерела живлення від нуля до значення вказаного викладачем, записати у табл.2.1 значення струму і напруги на елементі, що досліджується.

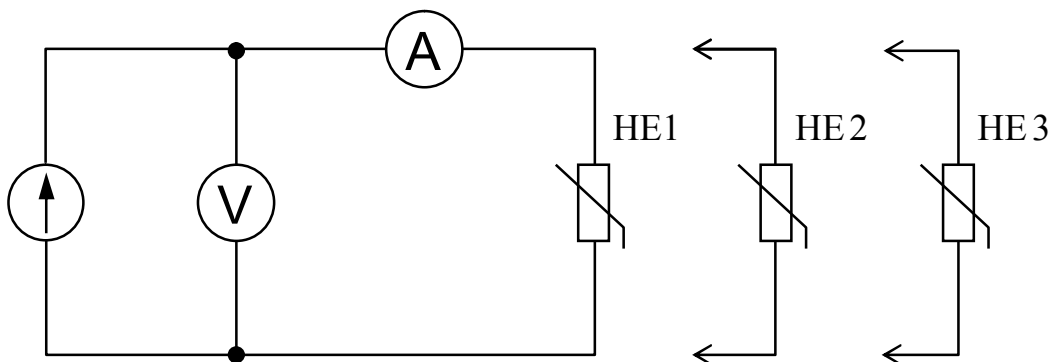


Рис.2.6.

Таблиця 2.1

№	HE1		HE2		HE3	
	$U$	$I$	$U$	$I$	$U$	$I$
	В	мА	В	мА	В	мА
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

2 Дослідити послідовне з'єднання нелінійних елементів:

2.1 зібрати коло, показане на рис.2.7;

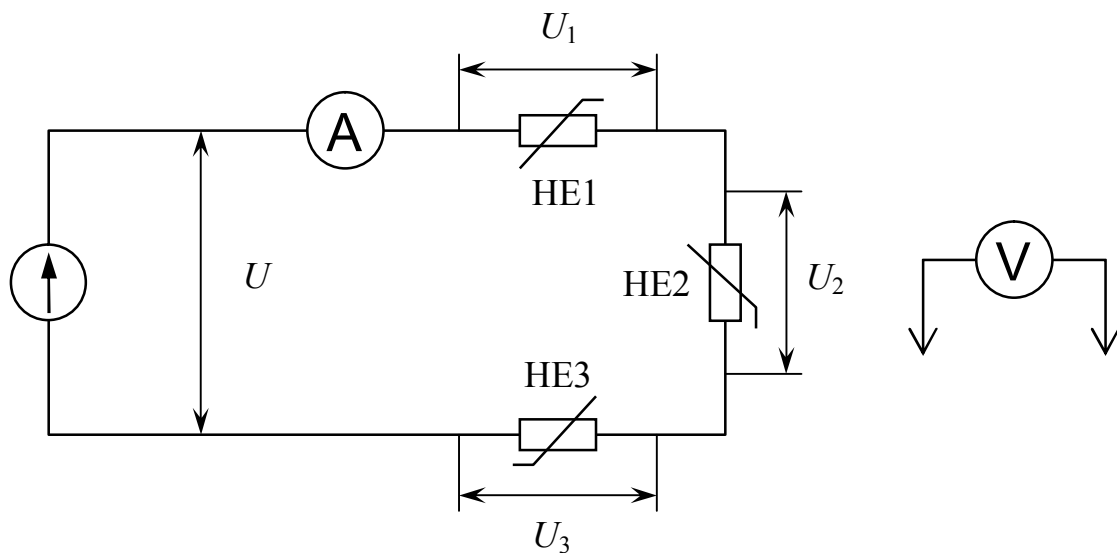


Рис.2.7



- 2.2 встановити на вході кола значення напруги, яке вказане викладачем;
- 2.3 виміряти струм у колі і напругу на кожному елементі, дані вимірювань занести у табл.2.2;
- 2.4 перевірити правильність вимірювань за другим законом Кірхгофа:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Таблиця 2.2.

Дані вимірювань					Результати обчислень						
$U$	$I$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$R$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$P_1$	$P_2$	$P_3$
В	mA	В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт

### 3 Дослідити паралельне з'єднання нелінійних елементів:

- 3.1 скласти схему, зображену на рис.2.8;
- 3.2 встановити напругу на вході кола за вказівкою викладача;
- 3.3 виконати вимірювання у відповідності до табл.2.3;
- 3.4 перевірити правильність вимірювань за першим законом Кірхгофа:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

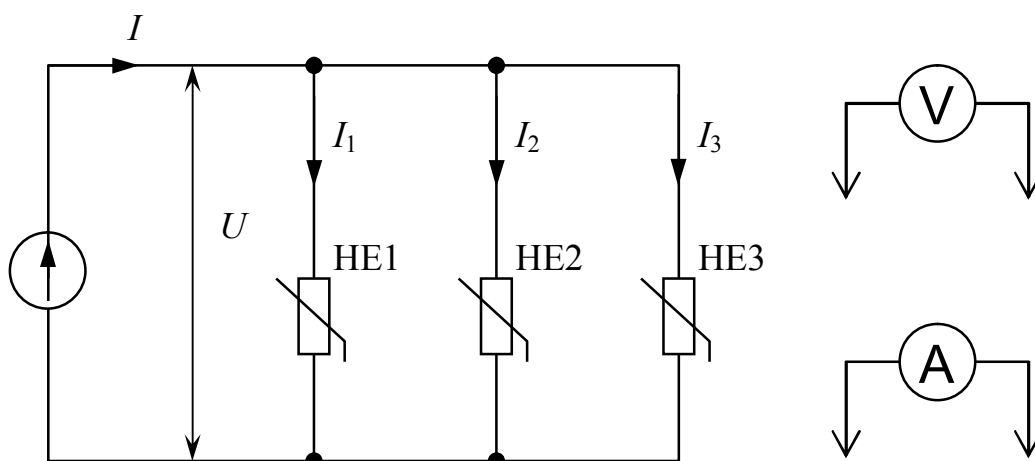


Рис. 2.8.

Таблиця 2.3.

Дані вимірювань					Результати обчислень			
$U=U_1=U_2=U_3$	$I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$R$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
В	мА	мА	мА	мА	Ом	Ом	Ом	Ом

4 Дослідити коло із змішаним з'єднанням елементів:

4.1 зібрати коло, зображене на рис.2.9;

4.2 встановити напругу на вході кола, вказану викладачем;

4.3 виміряти струми та напруги у відповідності з табл.2.4;

4.4. перевірити правильність вимірювань за першим та другим законами Кірхгофа:

$$I = I_1 = I_2 + I_3, \quad U = U_1 + U_2 = U_1 + U_3.$$

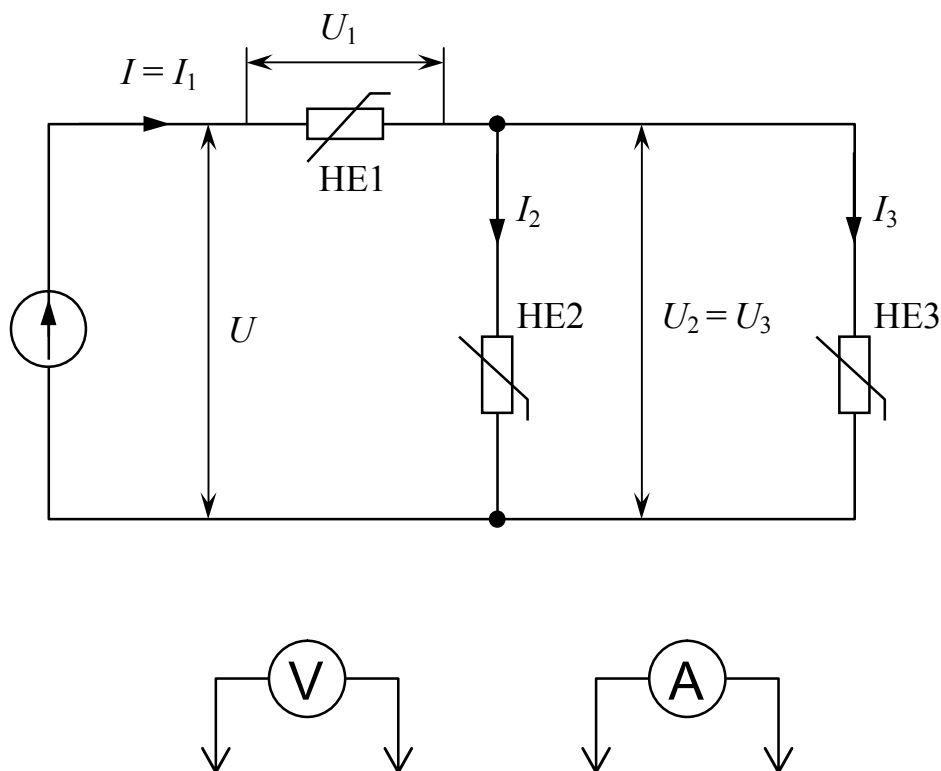


Рис. 2.9.

Таблиця 2.4.

Дані вимірювань							Результати обчислень			
$U$	$U_1$	$U_2=U_3$	$I$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$R$	$R_1$	$R_2$	$R_3$
В	В	В	мА	мА	мА	мА	Ом	Ом	Ом	Ом

### 2.3. Опрацювання результатів вимірювань.

1. За даними таблиць 2.2-2.4 виконати необхідні обчислення.
2. Користуючись даними табл.2.1, у загальних координатних вісях побудувати вольт-амперні характеристики для всіх трьох елементів.
3. По ВАХ окремих елементів побудувати результуючі ВАХ для послідовного, паралельного та змішаного з'єднань цих трьох елементів.
4. Визначити струми та напруги окремих елементів для різних з'єднань, використовуючи побудови, виконані в п.3. Порівняти отримані дані з результатами експерименту.
5. Зробити висновки по роботі.

### 2.4. Запитання і завдання для самоперевірки

1. Чим відрізняється нелінійне коло від лінійного?
2. Що таке вольт-амперна характеристика та що вона характеризує?
3. Що таке статичний та динамічний опір нелінійного елемента? Як визначаються ці опори?
4. Які паспортні величини зазначені на лампі розжарювання та як знайти її опір за паспортними даними?
5. Дві лампи потужність 60 та 100 Вт з'єднані послідовно. Яка з ламп горить яскравіше, якщо номінальна напруга ламп однакова?