

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

*Нелинейные электрические цепи постоянного тока* – цепи, содержащие нелинейные элементы (НЭ), нелинейные сопротивления (НС), нелинейные индуктивности или нелинейные емкости.

*При помощи нелинейных элементов можно:*

- Выпрямлять переменный ток.
- Стабилизировать напряжение и ток.
- Преобразовывать форму сигналов.
- Генерировать и усиливать сигналы различной формы.
- Производить вычислительные операции и т.п.

- Параметры линейных элементов:

$$R = u / i, \quad L = \Psi / i, \quad C = q / u$$

- постоянные величины и однозначно определяют эти элементы.

- Параметры НЭ – **непостоянны**, часто определяются экспериментально и задаются в виде графиков, таблиц, аналитически или другими способами.
- Нелинейные сопротивления в отличие от линейных сопротивлений обладают **нелинейными вольтамперными характеристиками** (ВАХ – это зависимость тока, протекающего через сопротивление, от напряжения на нем).

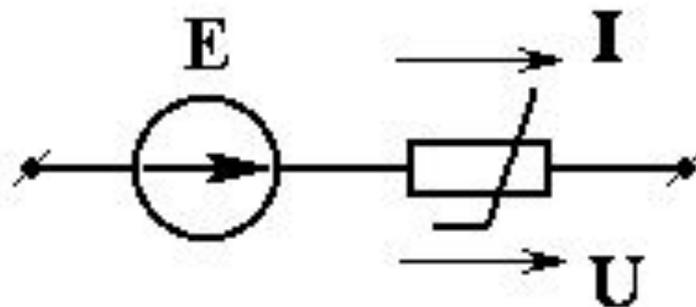
# Классификация резистивных элементов.

## *Пассивные элементы*

- ВАХ проходит через начало координат.
- В ПЭ происходят необратимые преобразования электрической энергии в другие виды.

## *Активные элементы*

- ВАХ не проходит через начало координат.
- Схема замещения содержит источник ЭДС (или тока).

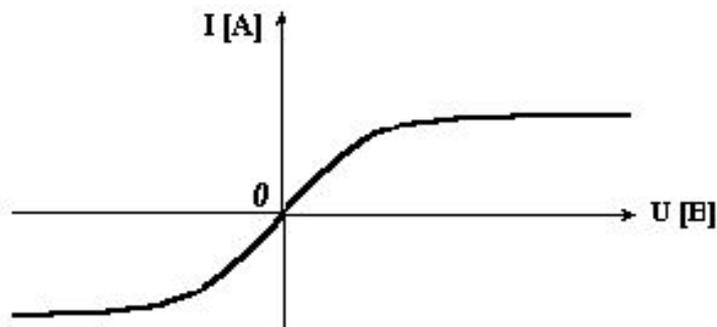


# По расположению ВАХ пассивного элемента относительно начало координат они делятся на:

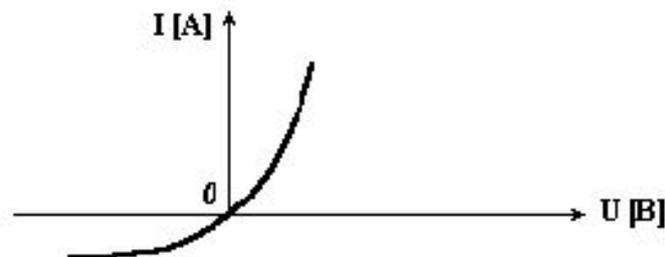
<b>Симметричные</b>	<b>Несимметричные</b>
<b>Лампы накаливания</b>	<b>Полупроводниковые диоды</b>
<b>Не зависят от направления тока. С увеличением протекающего тока сопротивление их уменьшается</b>	<b>Зависят от направления тока и способны пропускать ток только в одном, проводящем, направлении.</b>

Вольтамперные характеристики:

симметричные



несимметричные



# Нелинейные элементы могут быть подразделены на две большие группы:

## Неуправляемые элементы

## Управляемые элементы

Есть только основная цепь

Кроме основной цепи, есть вспомогательная (управляющая) цепь. Воздействуя на ток или напряжение которой можно менять ВАХ основной цепи.

**ВАХ** изображается одной кривой

-изображается семейством кривых

**Входят:** диод, лампа накаливания, полупроводниковые выпрямители

- транзистор, тиристор, магнитный усилитель и др.

**Общее свойство:** односторонняя проводимость – при одной полярности напряжения их сопротивление близко к нулю, при противоположной – очень большое или бесконечно большое.

- у них управляющий параметр – электрический (напряжение или ток)

# Графический метод расчета

нелинейной цепи постоянного тока с резистивными элементами.

## *Задача анализа нелинейной цепи*

– состоит в определении токов и напряжений на участках нелинейной цепи при заданных ВАХ нелинейных элементов, сопротивлениях линейных элементов и источниках ЭДС (или тока).

# Расчет нелинейной цепи при последовательном соединении пассивных нелинейных элементов.

На рис. 1а показано последовательное соединение двух нелинейных элементов **НЭ1** и **НЭ2**, характеристики которых представлены на рис. 1б.

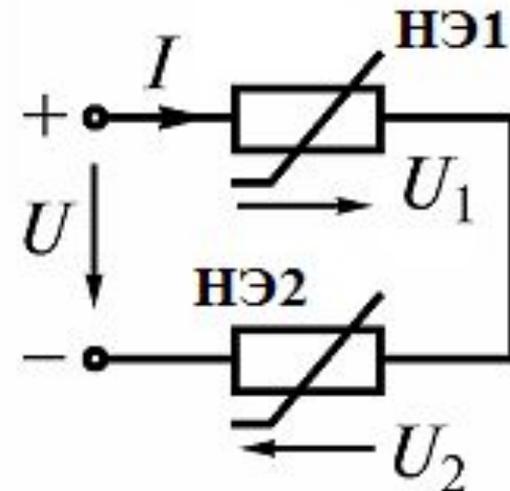


Рис. 1а

Метод сводится к графическому решению уравнения, составленного по 2-му закону Кирхгофа для двух последовательно соединенных НЭ1 и НЭ2.

$$U = U_1 + U_2$$

где  $U$  – общее напряжение на элементах;

$U_1$ ;  $U_2$  – напряжение на соответствующих элементах.

Для решения задачи ВАХ нелинейных элементов строятся в одной системе координат. При последовательном соединении в НЭ протекает **один и тот же ток**.

Поэтому:

1. Задаемся несколькими значениями тока (5-6 значений):  $I_1, I_2, I_3$  и т.д.
2. Проводим на графике линии параллельные оси абсцисс.

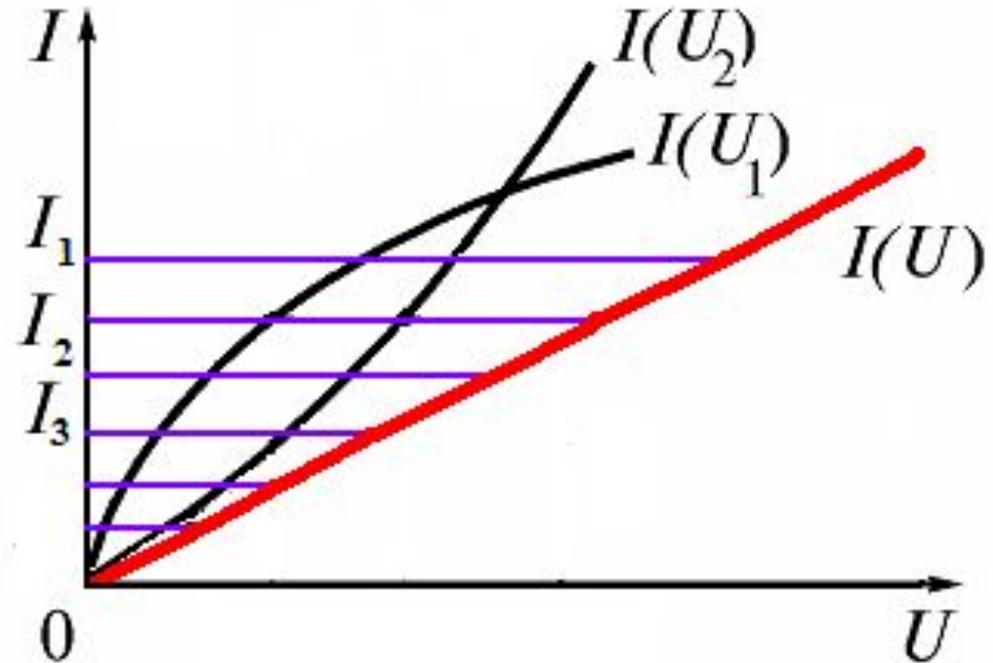


Рис. 16

3. Суммируем соответствующие значения напряжений на НЭ1 и НЭ2.
4. Соединяя кривой полученные точки, строим **эквивалентную** (результатирующую) **ВАХ  $I(U)$**  цепи.

5. На суммарной ВАХ по заданному напряжению  $U$  находим ток  $I$ .
6. По ВАХ отдельных нелинейных элементов определяем напряжения  $U_1$  и  $U_2$  на этих элементах.

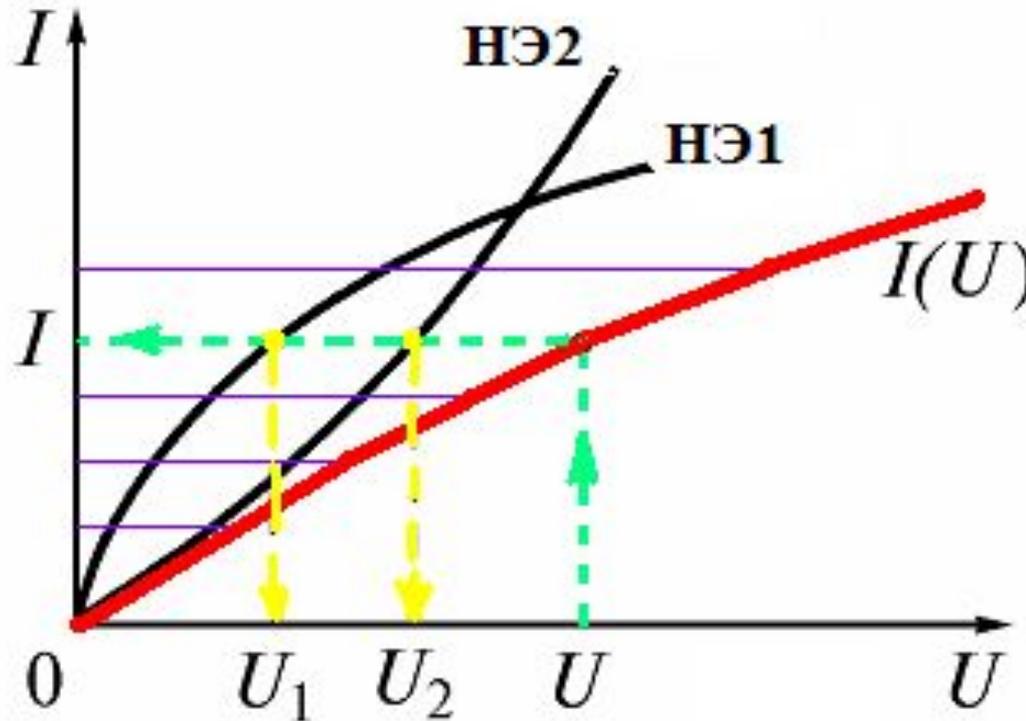


Рис. 1в

Такие же построения для расчета тока и напряжений можно выполнить, если один из **элементов линейный**. Аналогично решается задача расчета цепи, состоящей из трех или более последовательно соединенных нелинейных элементов.

## Расчет нелинейной цепи при параллельном соединении пассивных нелинейных элементов.

На рис. 2а показаны соединенные параллельно два нелинейных элемента **НЭ1** и **НЭ2**, ВАХ которых  $I_1(U)$  и  $I_2(U)$  заданы на рис. 2.б.

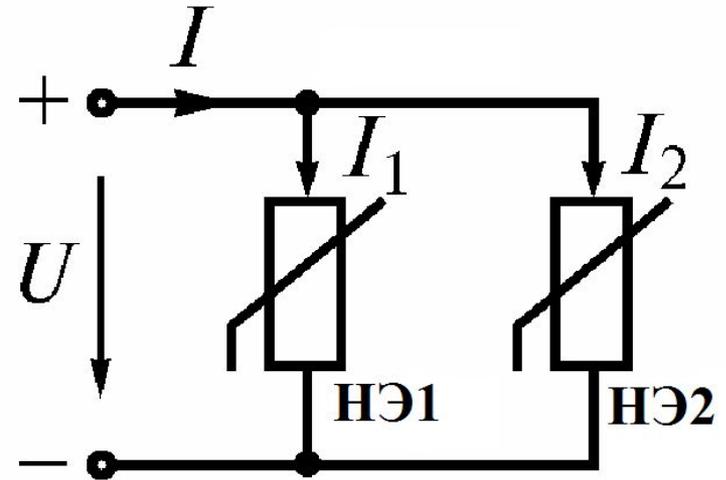


Рис. 2а

Метод сводится к графическому решению уравнения, составленного по 1-му закону Кирхгофа для двух параллельно соединенных нелинейных элементов.

$$I = I_1 + I_2$$

где  $I$  – общий ток;

$I_1; I_2$  – токи в соответствующих ветвях.

Для решения задачи ВАХ нелинейных элементов строится в одной системе координат. При параллельном соединении  $U_1 = U_2 = U$ .

Поэтому:

1. Задаемся несколькими значениями напряжений (5-6 значений):  $U_1, U_2, U_3$  и т.д.
2. Проводим на графике линии параллельные оси ординат.
3. Суммируем соответствующие значения токов на НЭ1 и НЭ2.

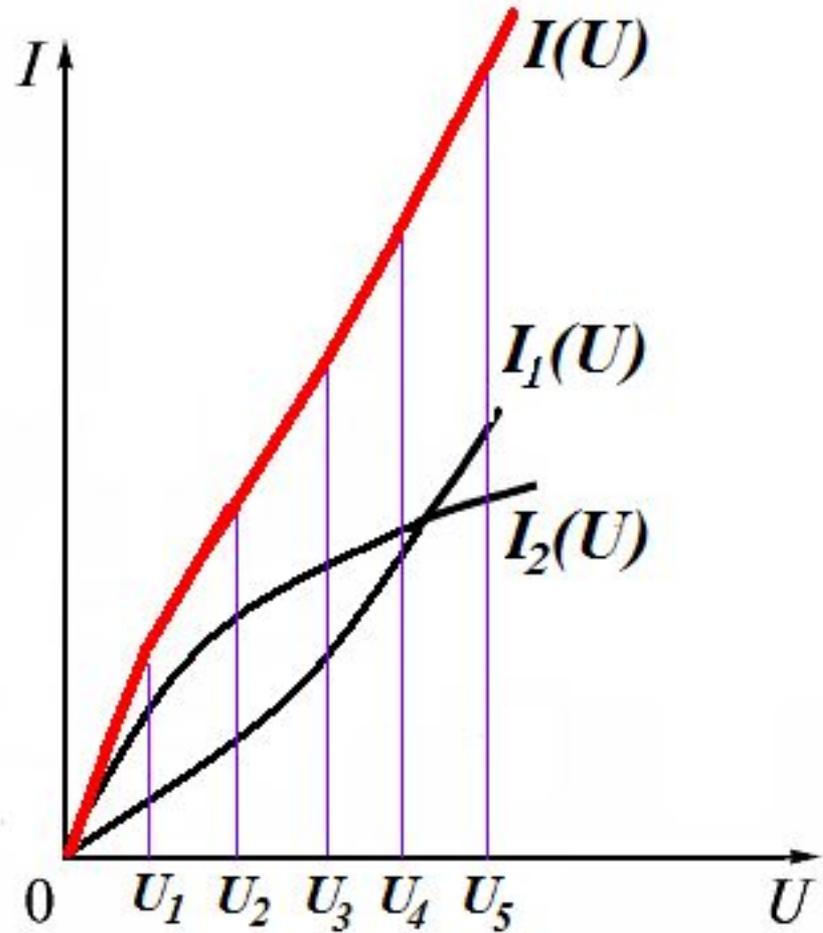


Рис. 26

4. Соединяя кривой полученные точки, строим **ВАХ  $I(U)$**  цепи.

5. На суммарной ВАХ по известному напряжению  $U$  находят ток  $I$ .

6. По ВАХ отдельных нелинейных элементов определяем токи в ветвях  $I_1$  и  $I_2$ .

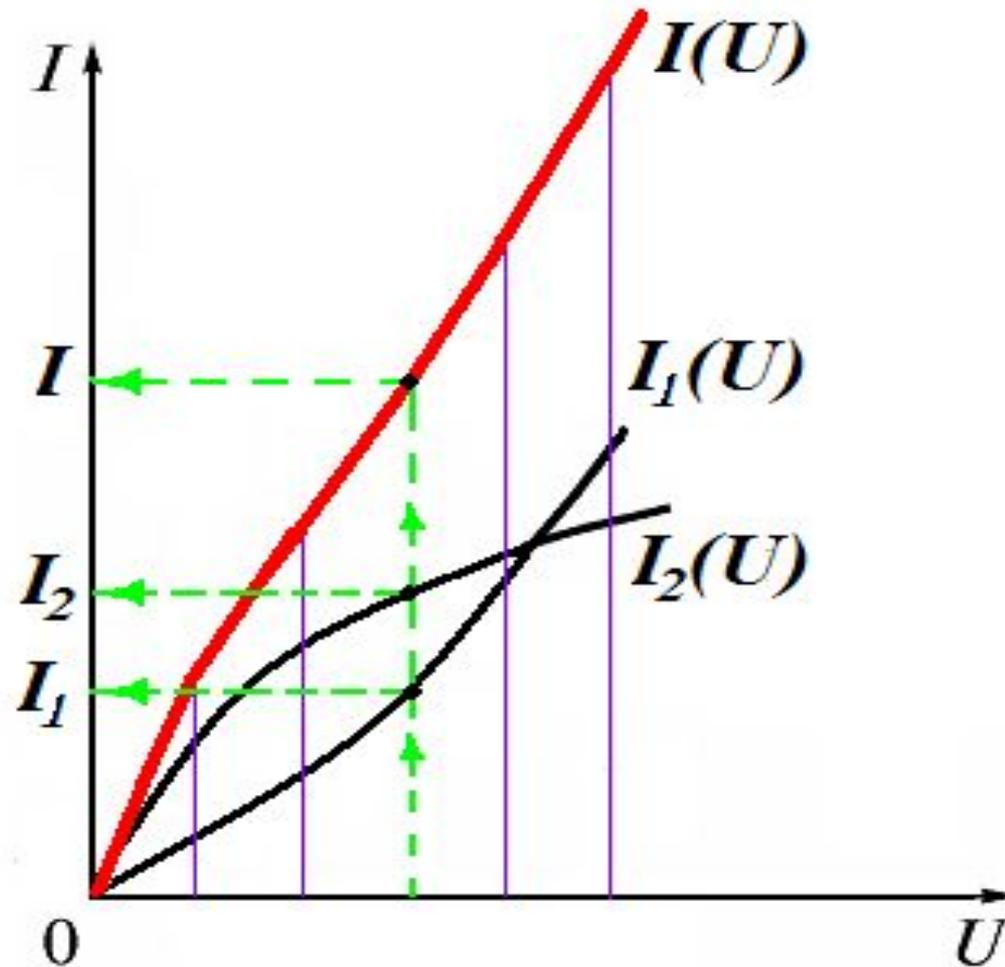
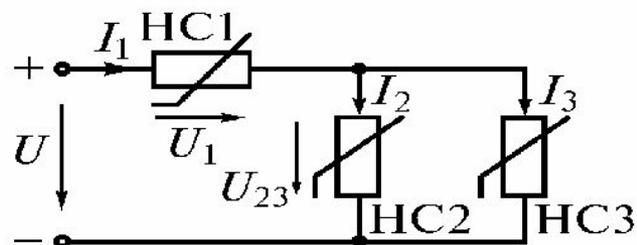


Рис. 2в

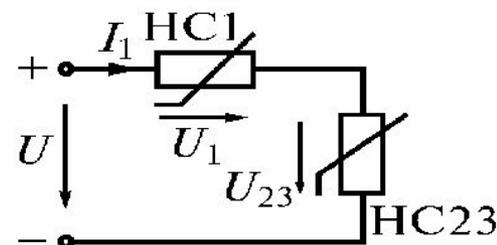
Таким же способом можно рассчитать электрическую цепь с любым числом параллельно включенных нелинейных элементов.

# Расчет нелинейной цепи при смешанном соединении пассивных нелинейных элементов.

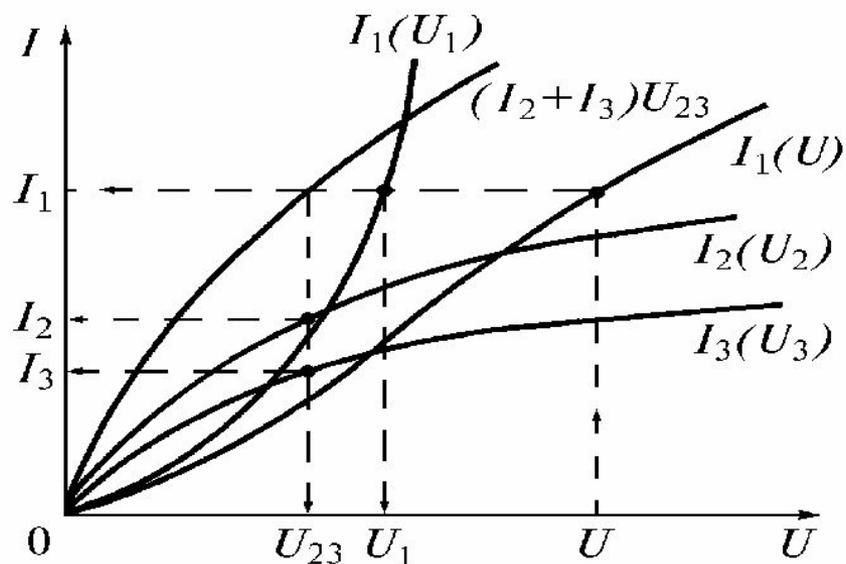
Расчет сводится к двум предыдущим случаям (рис.3).



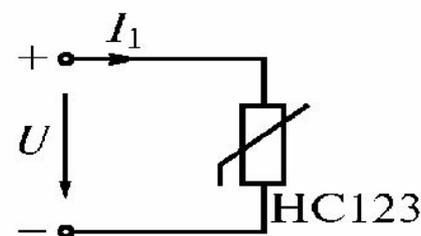
а)



б)



б)



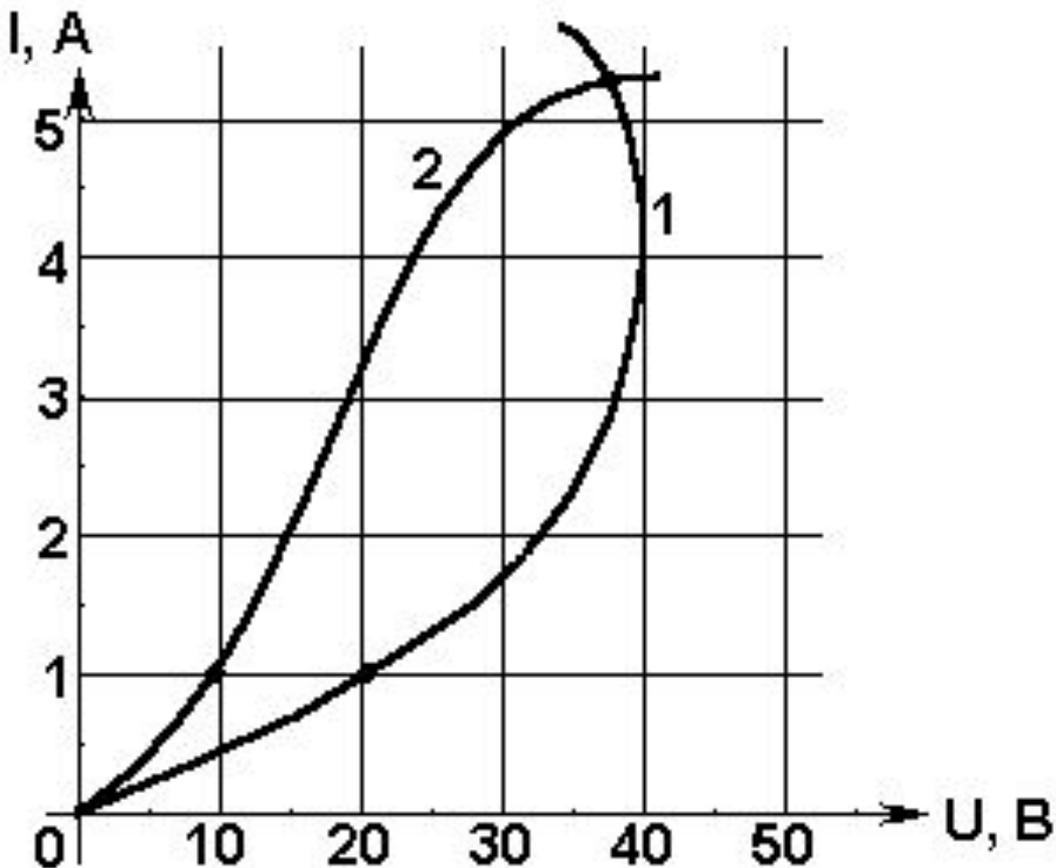
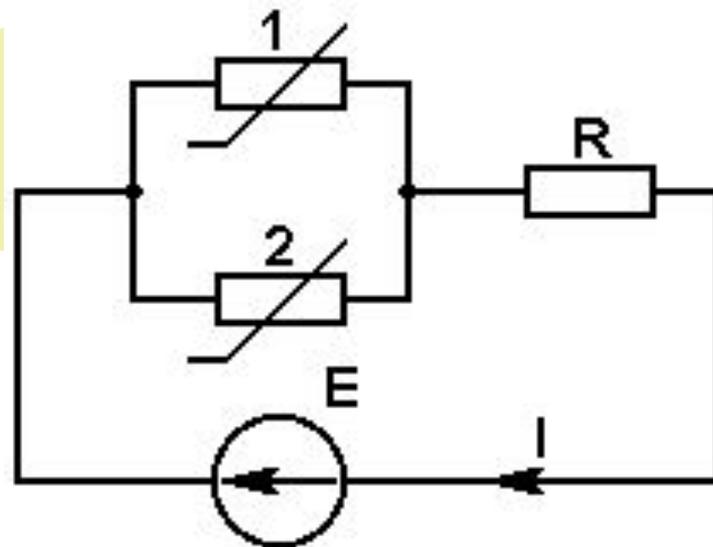
г)

Рис. 3

## Пример 1:

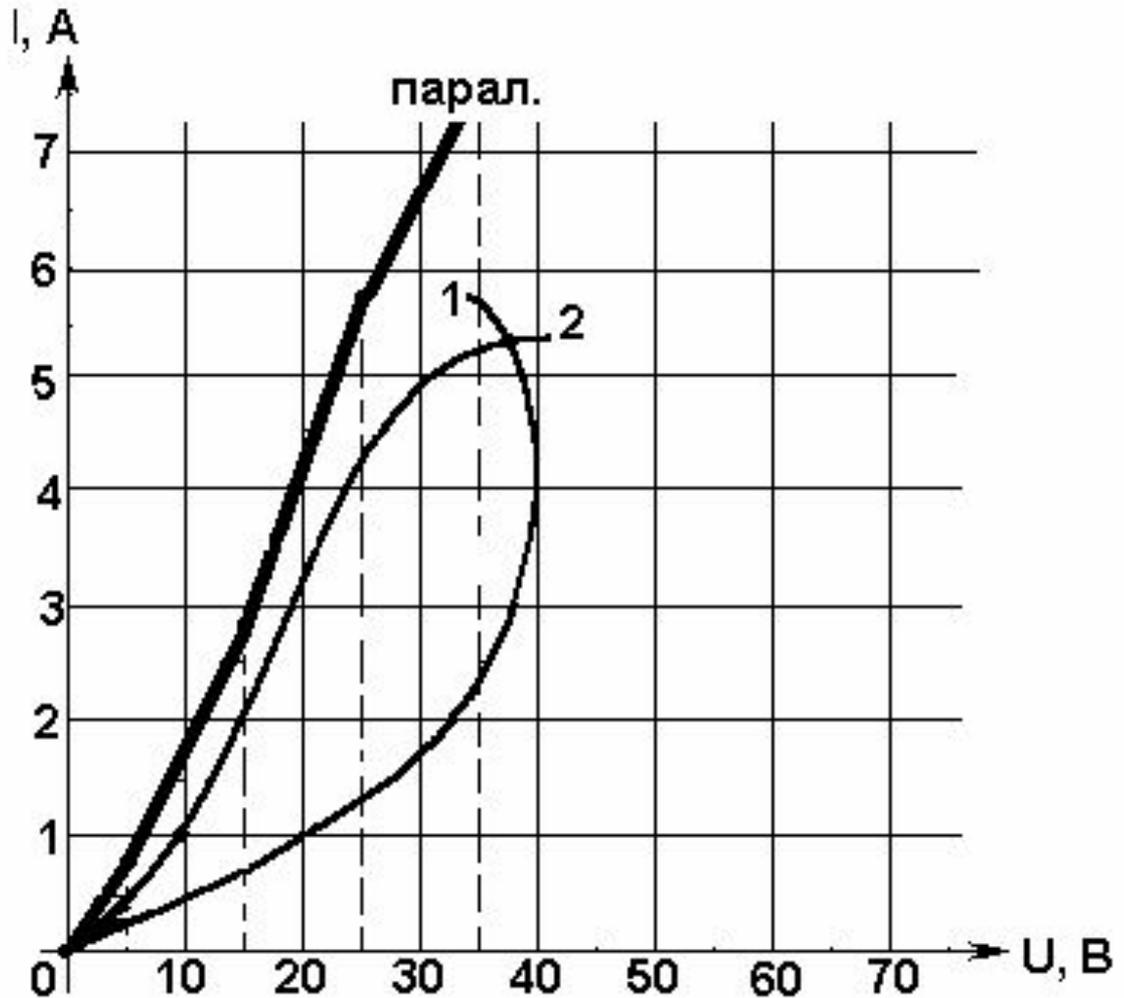
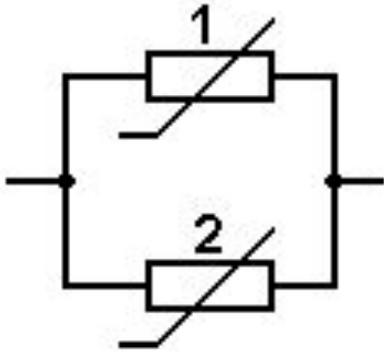
В схеме определить все токи.

Если  $E = 50 \text{ В}$ , а  $R = 10 \text{ Ом}$ .



Вольтамперные  
характеристики  
нелинейных  
резистивных  
элементов заданы  
кривой 1 и 2.

## Решение:



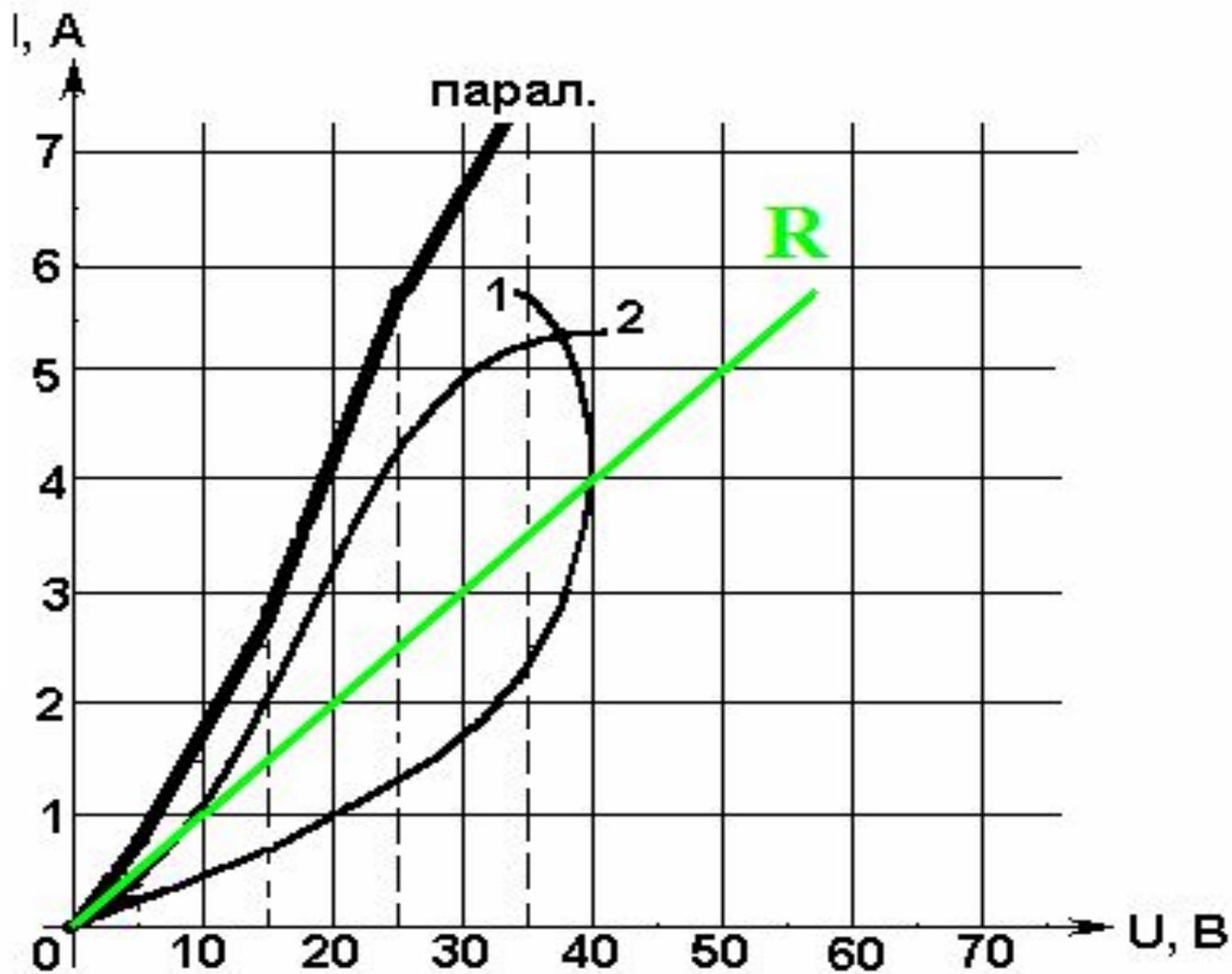
- Два нелинейных элемента включены параллельно - у них **общее напряжение**, поэтому зададимся несколькими значениям напряжения.

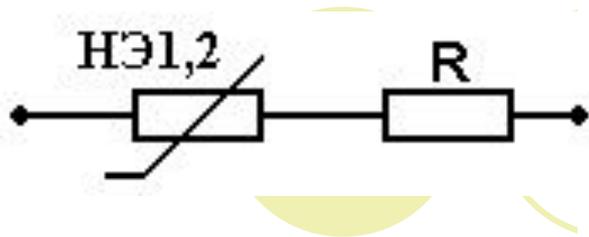
- Сложив вольтамперные характеристики 1 и 2, получим параллельную вольтамперную характеристику.

- Строим вольтамперную характеристику для  $R = 10 \text{ Ом}$ .

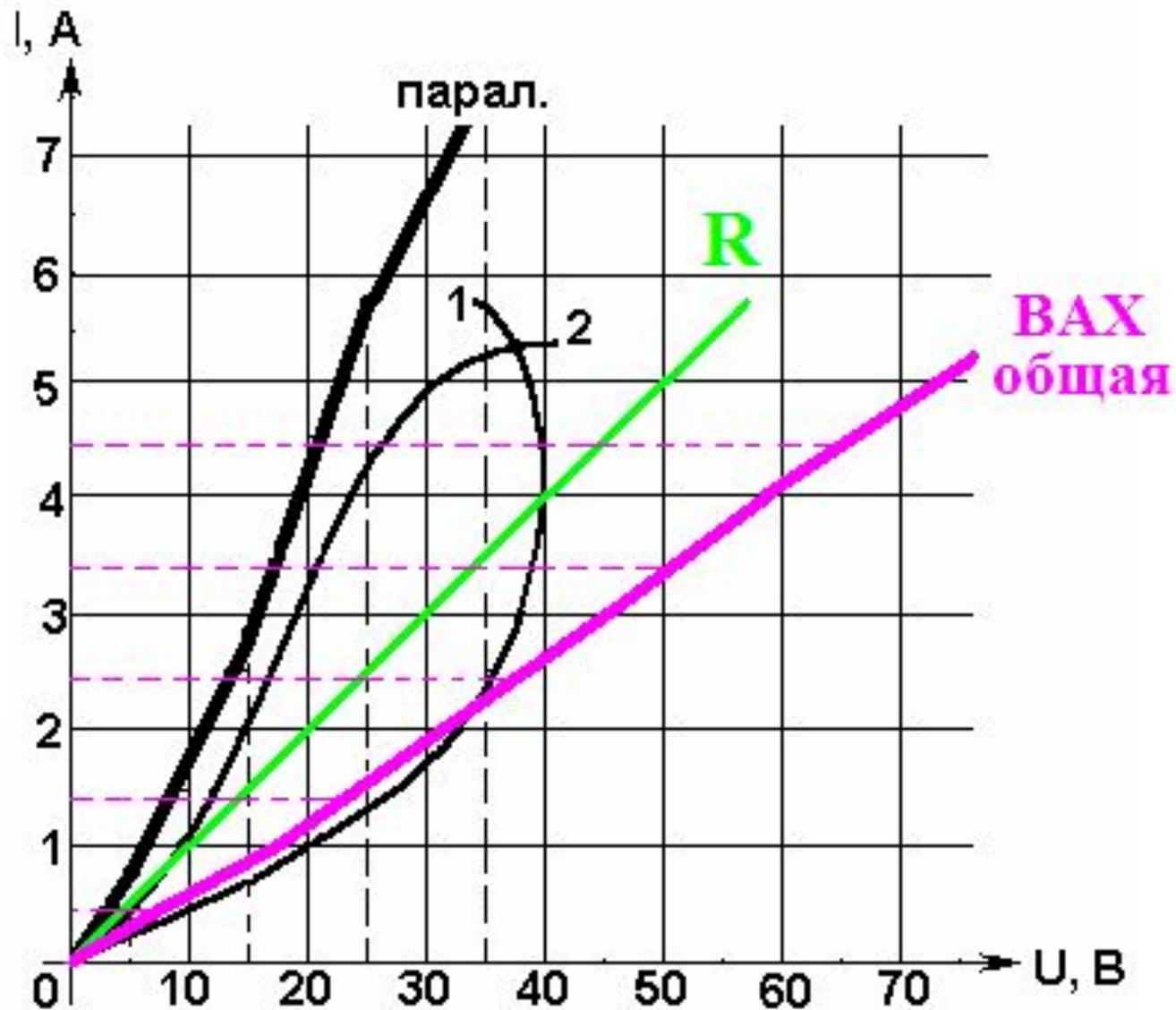


$U, \text{В}$	0	10	20	30
$I, \text{А}$	0	1	2	3



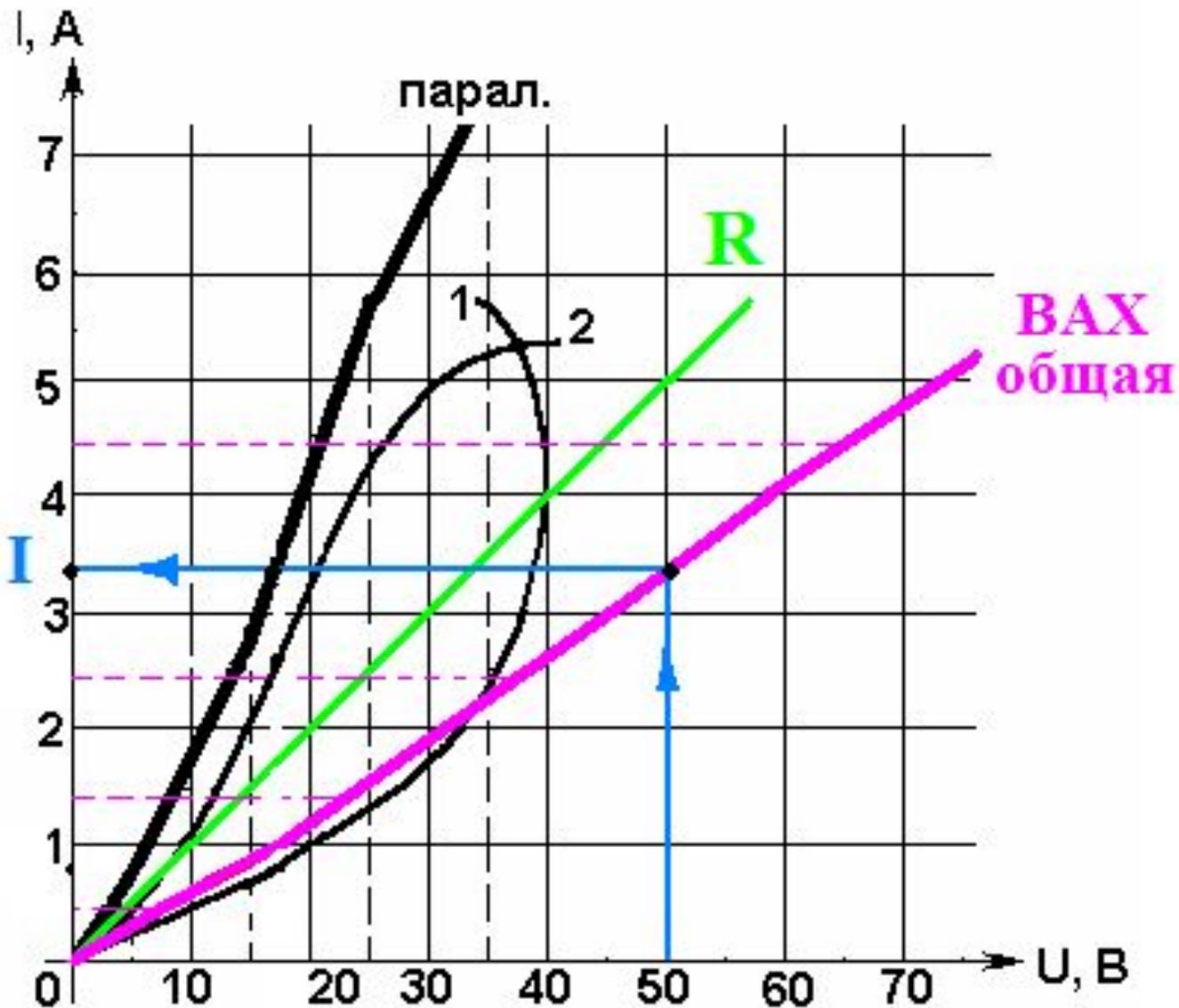
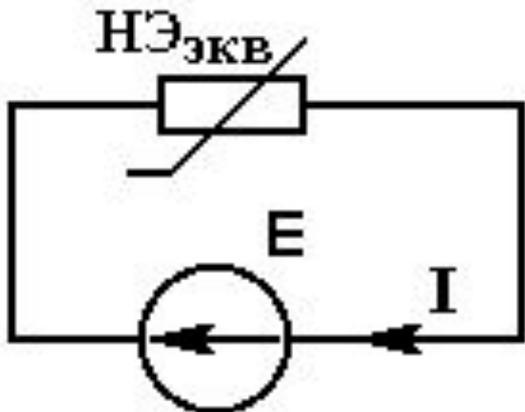


- Два элемента включены последовательно - у них *общий ток*, поэтому зададимся несколькими значениями тока.

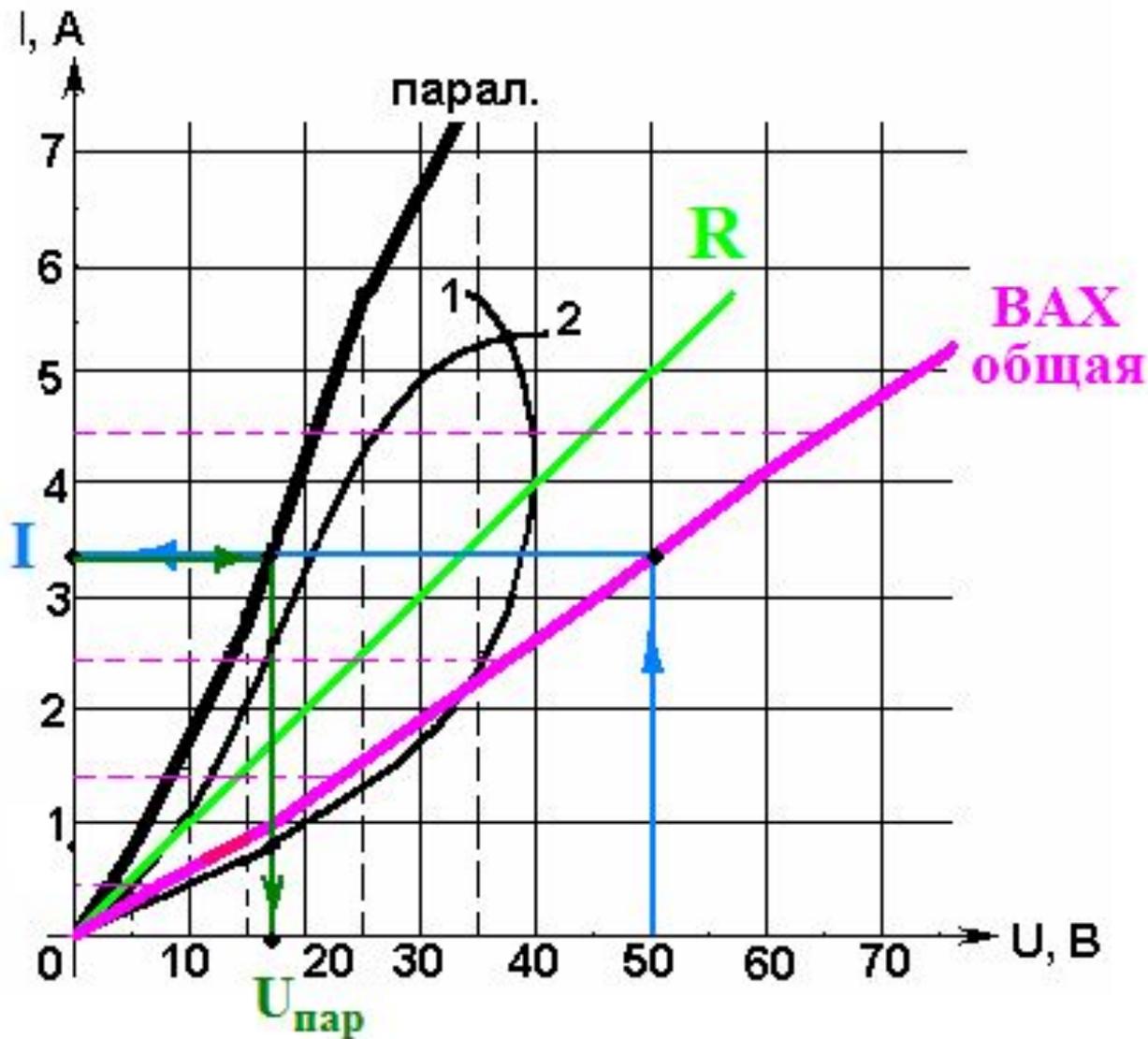
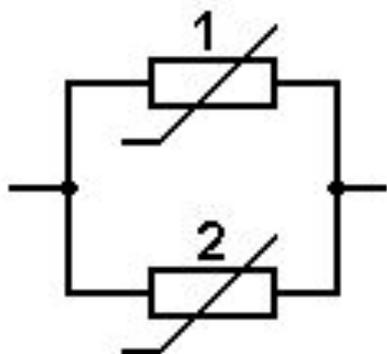


- Складываем вольтамперные характеристики  $R$  и  $HЭ1,2$ , получим *общую ВАХ*.

- Отложим значение напряжения  $E = 50 \text{ В}$  и найдем значение тока  $I$ :  $I \approx 3,4 \text{ А}$



- Определим напряжение на параллельном участке  $U_{\text{пар}}$ : от найденного значения тока, проводим линию до ВАХ парал. и опускаемся на ось с напряжением -  $U_{\text{пар}} \approx 17 \text{ В}$ .



- Определим токи в параллельных ветвях: на пересечении напряжения  $U_{пар}$  с характеристиками НЭ1 и НЭ2 -  $I_1 \approx 0,8 \text{ A}$  и  $I_2 \approx 2,6 \text{ A}$ .

