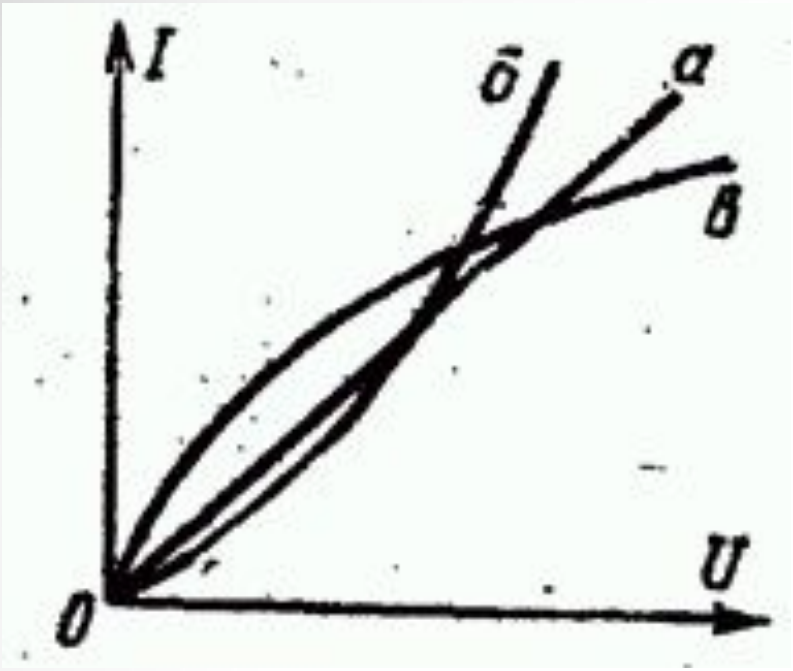
Нелинейные элементы электрических цепей постоянного тока

go-radio.ru

Элементы электрических цепей, имеющие нелинейную зависимость между током и напряжением U = f(I), называются нелинейными.

Электрическая цепь, в которую входят нелинейные элементы, называется нелинейной

Зависимость силы тока в цепи от напряжения на ее зажимах называется вольт-амперной характеристикой (ВАХ).



Оа - вольт-амперная характеристика линейного элемента

Об — вольт-амперные характеристики лампы с угольной нитью.

Ов — вольт-амперные характеристики лампы с металлической нитью.

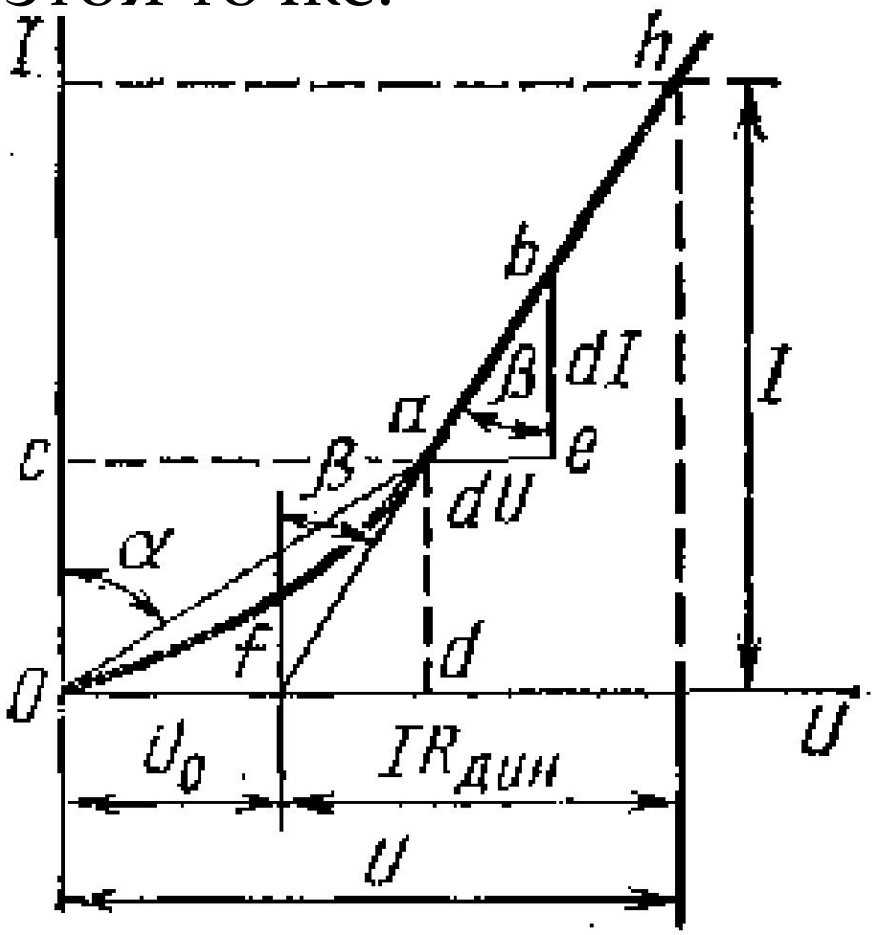
Для расчета нелинейных цепей рационально использовать графо-аналитический метод, который предусматривает построение суммарной вольт-амперной характеристики цепи.

Построение суммарной ВАХ нелинейной цепи:

- зависит от схемы соединения элементов нелинейной цепи;
- производится по заданным ВАХ нелинейных элементов и построенным характеристикам линейных элементов, если они включены в цепь.

У нелинейных элементов различают статическое и динамическое сопротивления.

Статическим сопротивлением в данной точке а ВАХ называют отношение U к I, соответствующих этой точке:

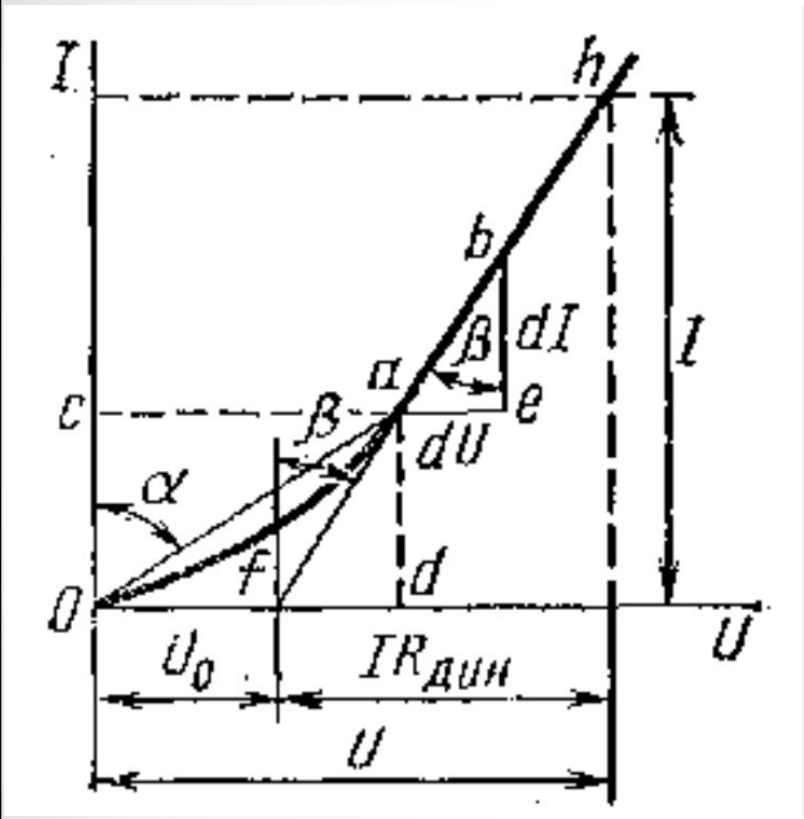


$$R = \frac{U_a}{I_a} = \frac{m_u \overleftarrow{od}}{m_i \overleftarrow{oc}} = m_R tg \propto$$

m_u и m_i – масштабы напряжения и тока;

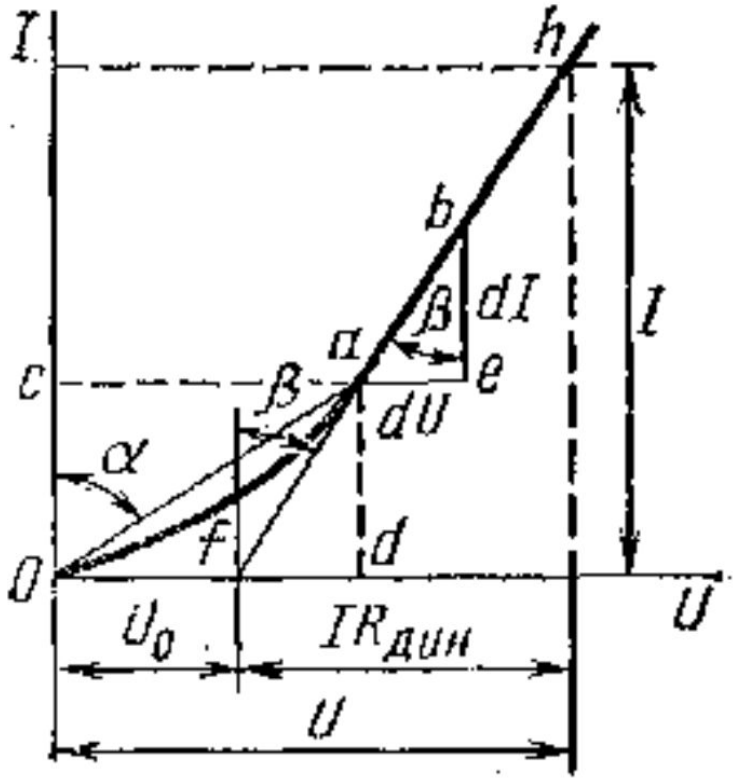
$m_R = m_u / m_i$ – масштаб сопротивления.

Динамическое сопротивление в точке а определяется отношением бесконечно малых приращений напряжения dU и тока dI:



$$R_{дин} = \frac{dU}{dI} \approx \frac{m_U \overline{ae}}{m_i \overline{be}} = m_R \operatorname{tg}\beta$$

Динамическое сопротивление пропорционально тангенсу угла наклона касательной к вольт-амперной характеристике в точке а.

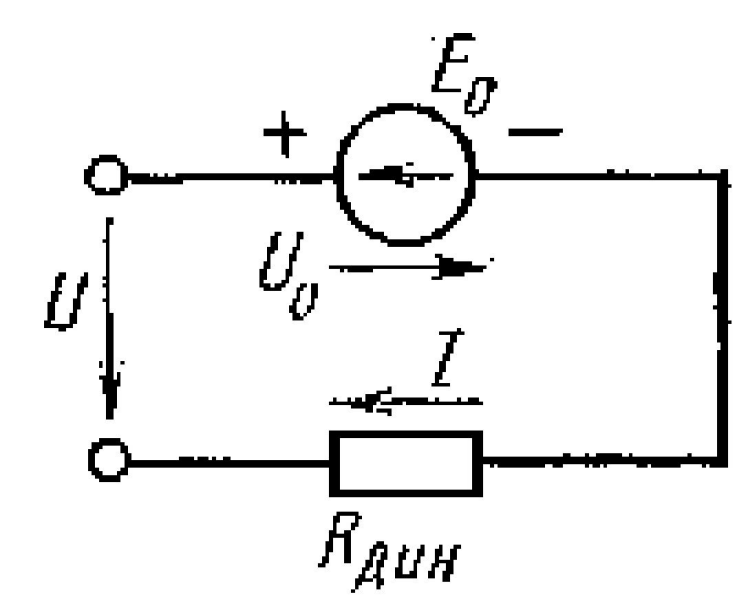


Отрезок o-f выражает постоянное напряжение U_0.

В любой точке h прямолинейной части ВАХ напряжение складывается из постоянного напряжения U_0 и изменяющейся части:

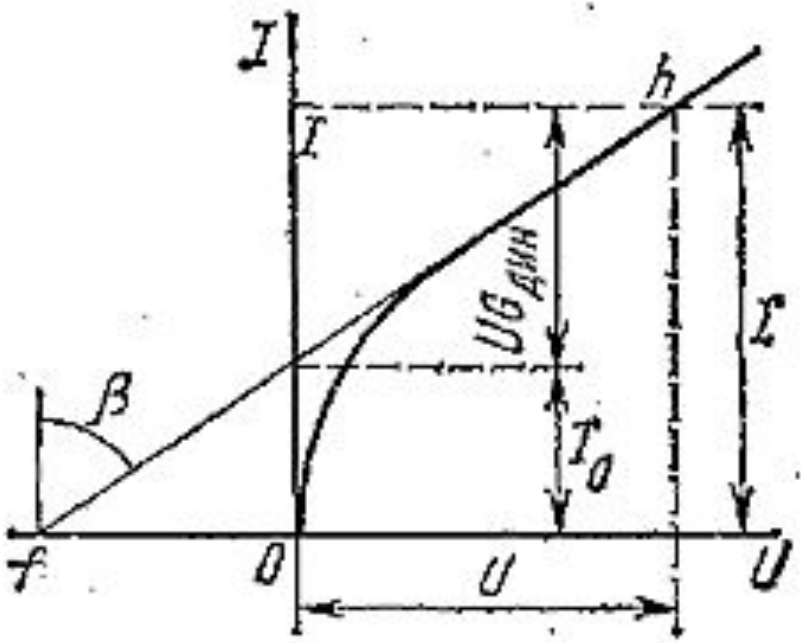
$$U = U_0 + IR_{дин}$$

Нелинейный элемент с вогнутой ВАХ можно представить схемой последовательного соединения э. д. с. $E_0 = U_0$ и динамического сопротивления $R_{дин}$:



$$U = E_0 + IR_{дин}$$

ВАХ нелинейного элемента обращенная выпуклостью к оси токов:



Нелинейный элемент можно представить схемой параллельного соединения источника тока и динамической проводимости $G_{дин}$.

В линейной части характеристики ток можно представить в виде суммы:

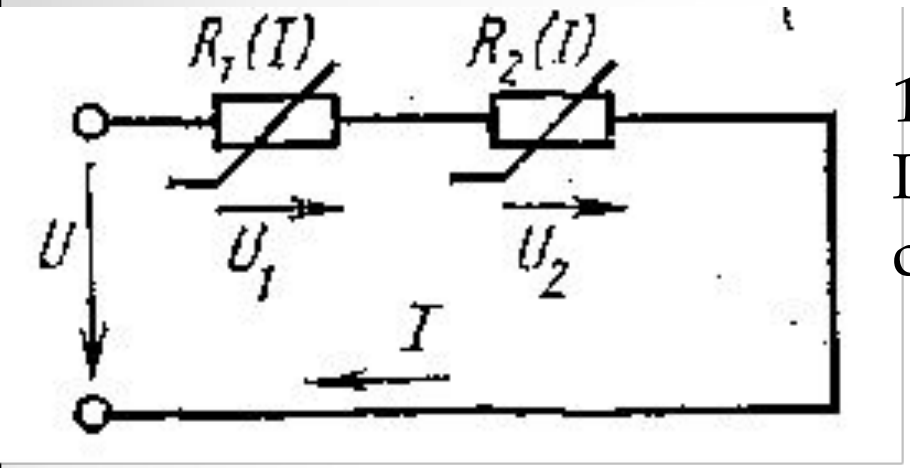
$$I = I_0 + UG_{дин}$$

ГРАФИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Основные положения:

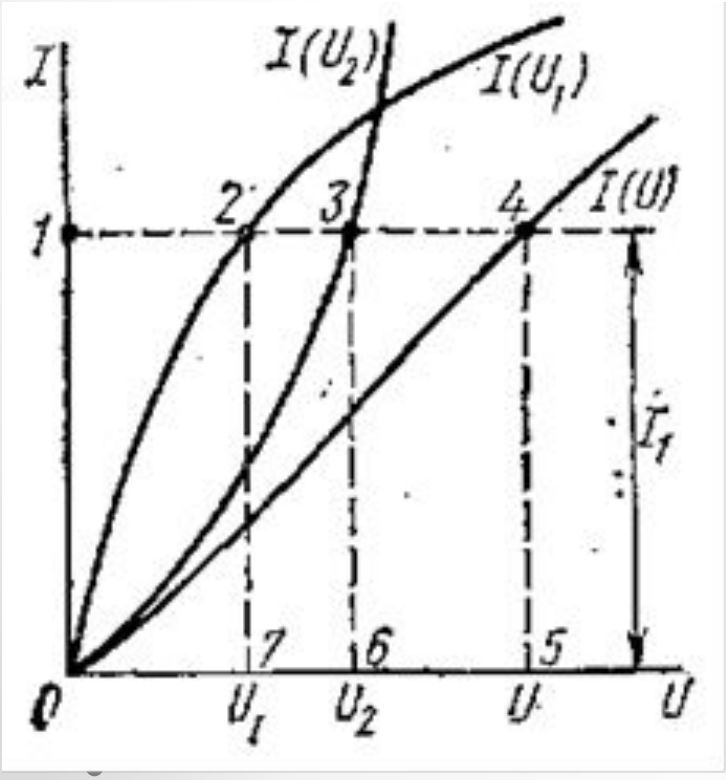
- Нелинейные элементы могут иметь ВАХ, у которых нет линейных участков и уравнений для их аналитического выражения.
- Расчет цепей, содержащих такие элементы, осуществляется графическими методами, которые применимы при любом виде ВАХ.
- Исходные данные для расчета (ВАХ элементов цепи) задаются в виде графиков или таблиц.
- Ток одного элемента определяют по напряжению этого элемента (или наоборот) следующим образом: заданную величину отмечают на оси координат, находят соответствующую ей точку кривой, а затем на другой оси определяют искомую величину.

Последовательное соединение двух нелинейных элементов



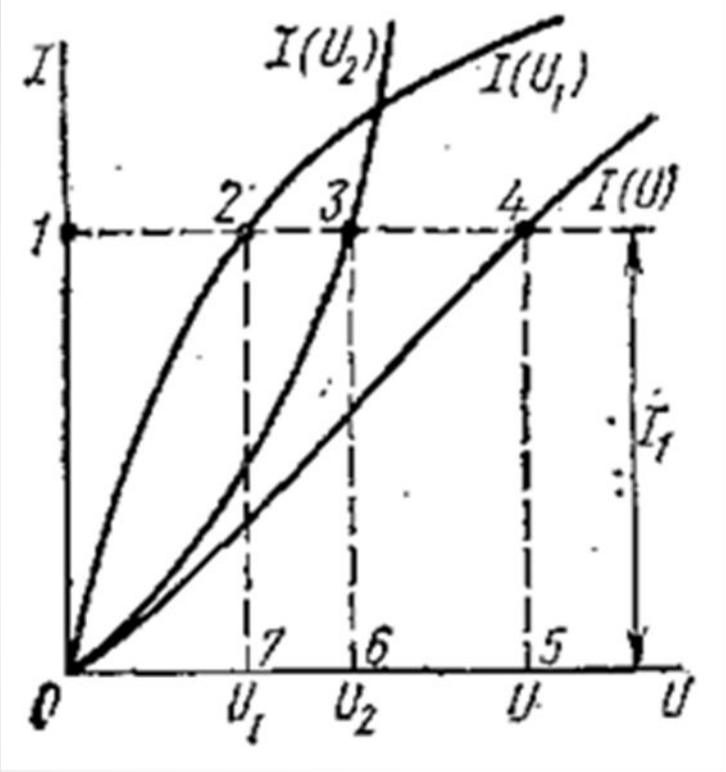
1. Заданные ВАХ элементов I(U1) и I(U2) строят в общей системе координат.

2. Строят ВАХ I(U) всей цепи, выражающую зависимость тока в цепи от общего напряжения.



Проведем прямую, параллельную оси абсцисс и соответствующую току I. Отрезки 1-2 и 1-3 выражают напряжения UI, U2 на участках. Сложив эти отрезки, на той же прямой получим точку 4 общей ВАХ.

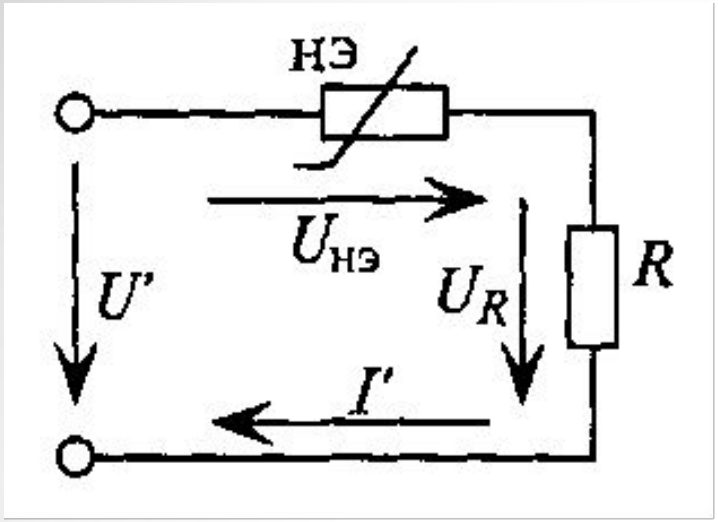
Для определения тока в цепи и напряжения U1 и U2 на участках при известном общем напряжении U:



- на оси абсцисс находим точку 5 (отрезок 0-5 в масштабе напряжений выражает напряжение в цепи).
- через т.5 проводим ⊥ к оси абсцисс до пересечения с общей ВАХ I(U) в точке 4.
- Из точки 4 проводим линию, параллельную оси абсцисс.

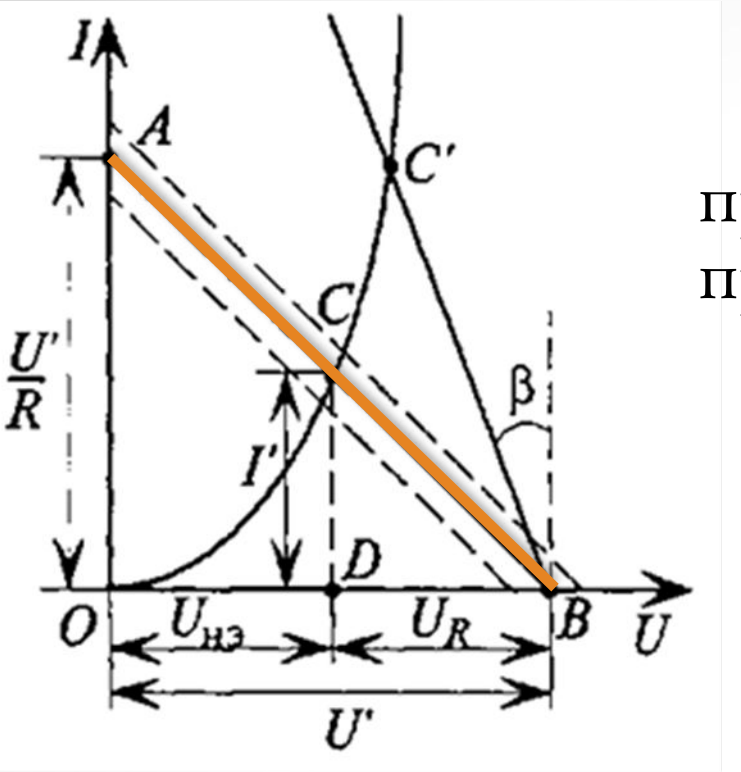
Итог: отрезок 5-4 выражает ток в цепи, отрезки 1-2 и 1-3 — напряжения U1 и U2 соответственно.

Неразветвленная нелинейная цепь с линейным элементом



Для расчета такой цепи суммируют абсциссы (напряжения) всех элементов цепи, включая линейный, построив предварительно его ВАХ в той же системе координат

Далее для расчета цепи с можно воспользоваться построением нагрузочной характеристики.

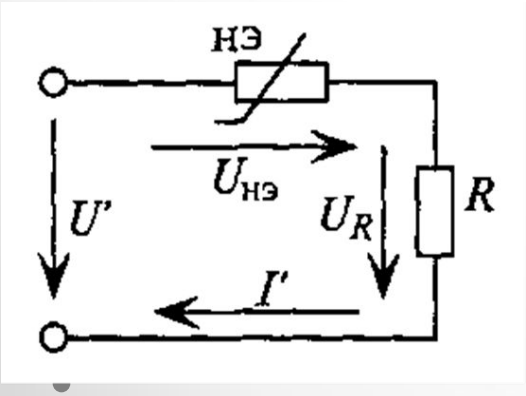


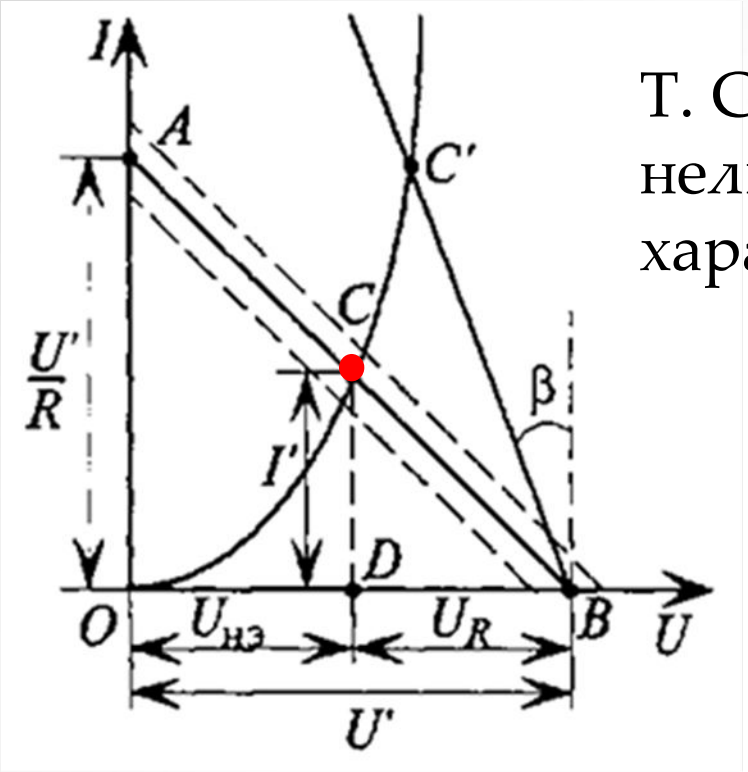
Нагрузочная характеристика представляет собой прямую линию, проведенную через две точки А и В

$$U_{нэ}=U'-U_R=U'-I'R.$$

$$I=\frac{U'-U_{НЭ}}{R}=\frac{U'}{R}-\frac{U_{НЭ}}{R}$$

Точка В соответствует величинам I' = 0 и $U_{НЭ}$ = U'.
Точка А соответствует величинам Uэ = 0 и I'= U'/R



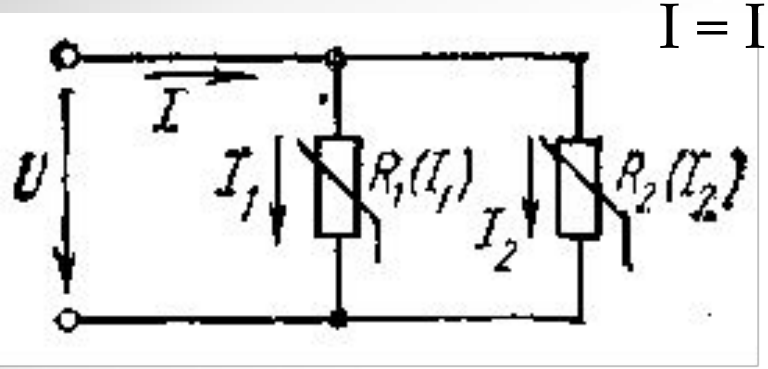


Т. С - точка пересечения заданной ВАХ нелинейного элемента и нагрузочной характеристики.

отрезок DC — ток цепи
отрезок OD — напряжение на нелинейном элементе — $U_{M'}$
отрезок DB — напряжение на линейном элементе R — U_R

Такой метод расчета неразветвленных нелинейных цепей называется методом пересечений.

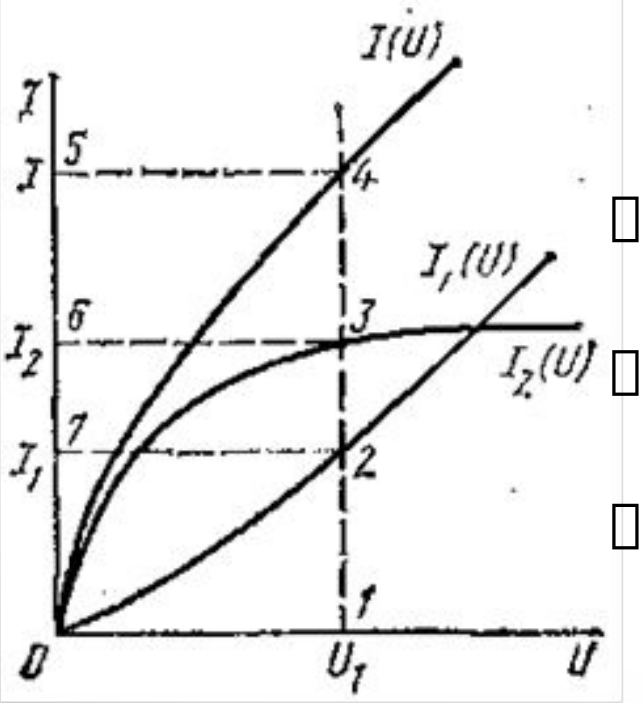
Параллельное соединение двух нелинейных элементов



$$I = I_1 + I_2$$

Для построения общей ВАХ I(U) нужно сложить ординаты ВАХ элементов.

При напряжении U_1 сумма отрезков 1-2 (ток I_1) и 1-3 (ток I_2) равна отрезку 1-4 (ток I).

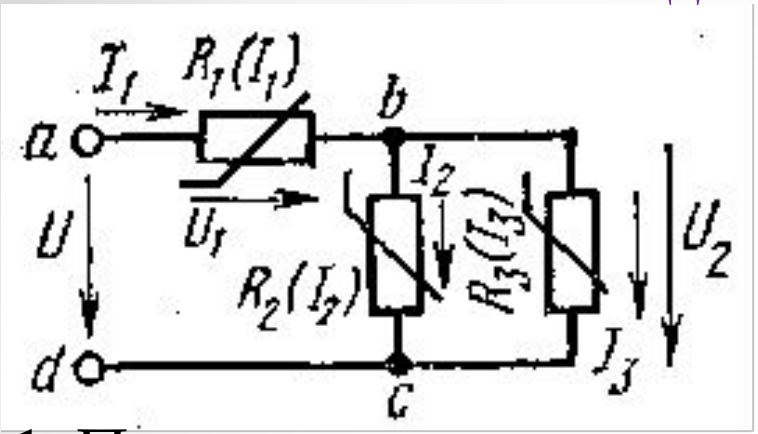


Дано: U1. Найти I_1, I_2, I.

- на оси абсцисс откладываем отрезок 0-1 (U1)
- через точку 1 проводим линию, ∥ оси ординат.
- определяем точки 2, 3, 4 пересечения прямой с ВАХ.

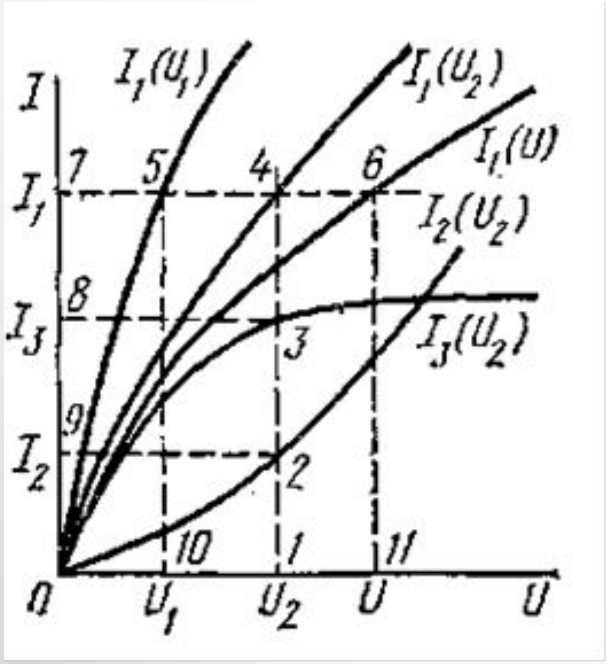
Отрезки 1-2, 1-3, 1-4 в масштабе токов выражают токи в цепи I_1, I_2, I.

Смешанное соединение нелинейных элементов

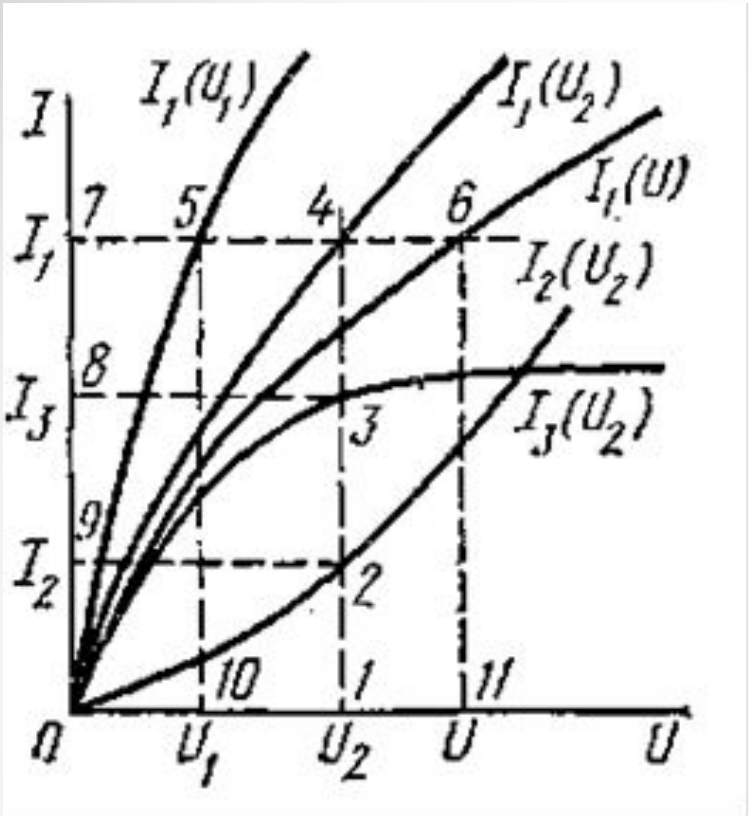


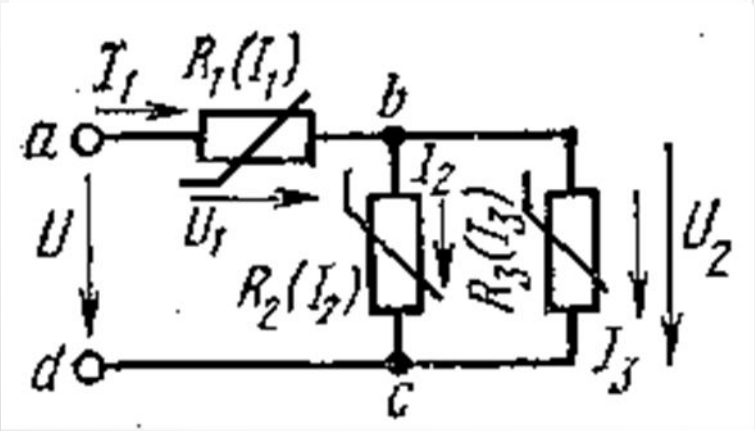
Для графического расчета цепи применяется метод «свертывания» схемы.

1. По заданным характеристикам $I_2(U_2)$, $I_3(U_2)$ параллельно соединенных элементов строится ВАХ участка цепи между точками bc.



2. Строим ВАХ $I_1(U)$ всей цепи (с последовательно соединенными $НЭ_1$ и суммарным $НЭ_{23}$).





Дано: U. Требуется определить токи в схеме и напряжения на участках.

1. Отложим на оси абсцисс отрезок 0-11, (U), проведем линию 11-6 ‖ оси ординат до пересечения с кривой $I_1(U)$. Отрезок 11-6 (I_1).
2. Прямая, проведенная через точку 6, пересекает кривые $I_1(U_1)$ и $I_2(U_2)$ в точках 5 и 4. Отрезки 7-4 и 7-5 (U_2 и U_1). Напряжение U_2 — общее для участков с токами I_2 и I_3.
3. Для определения I_2 и I_3 через точку 4 проводится прямая, параллельная оси ординат. Пересечение этой прямой с кривыми $I_2(U_2)$ и $I_3(U_2)$ в точках 2 и 3 дает отрезки 1-2 и 1-3 (токи I_2 и $I_{3)}$.