

Нелинейные цепи постоянного тока

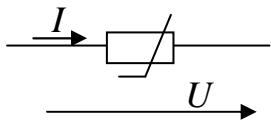
Цепь называется нелинейной, если содержит, хотя бы один нелинейный элемент.

Нелинейными называются элементы вольт-амперная (вебер-амперная, кулон-вольная) характеристика которых отличается от линейной зависимости.

Для характеристики резисторов используются нелинейные вольт-амперные (ВАХ) характеристики - $u(i)$; индуктивностей - вебер-амперные (ВбАХ) характеристики - $\Psi(i)$; ёмкостей - кулон-вольтные (КВХ) характеристики - $q(u)$.

Примеры нелинейных элементов: лампа накаливания, диод и пр..

Статическое и дифференциальное сопротивления



У нелинейных элементов различаются статические и дифференциальные сопротивления, индуктивность, ёмкость.

Статическим сопротивлением в рабочей точке а характеристики называют отношение напряжения к току, соответствующих этой точке.

Характеристики нелинейных элементов являются нелинейными функциями одной или нескольких переменных. $R_{cm} = \frac{U_a}{I_a} = \frac{m_U |ob|}{m_I |oc|} = m_R \operatorname{tg} \alpha;$

где: m_R, m_U, m_I - масштабы сопротивления, напряжения, тока, соответственно;

α - угол между секущей, проходящей через рабочую точку a , и осью абсцисс.

Дифференциальное сопротивление в рабочей точке определяется отношением приращения напряжения к приращению тока:

$$R_{diff} = \frac{dU}{dI} = m_R \operatorname{tg} \beta;$$

где: β - угол между касательной в рабочей точке и осью абсцисс.

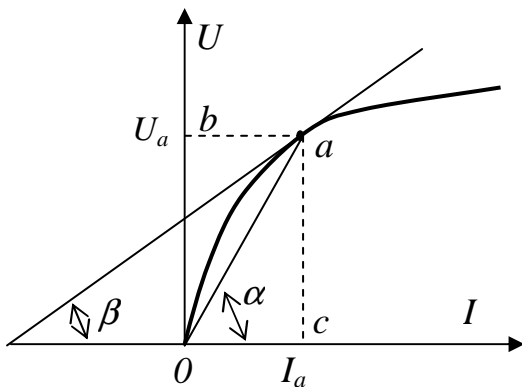


Рис.1

Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока.

К расчету нелинейных цепей применимы все методы, основанные на законах Кирхгофа, потому что законы Кирхгофа справедливы для мгновенных значений величин. Методы же и принципы, основанные на законе Ома, неприменимы, так как между током и напряжением на элементе отсутствует пропорциональность. Вместо закона Ома необходимо пользоваться имеющимися нелинейными характеристиками. Таким образом, неприменимыми являются принцип наложения, метод контурных токов, принцип взаимности. Однако цепь, содержащая нелинейные и линейные элементы, может быть разделена на линейную и нелинейную часть. Для каждой из этих цепей применимы свои методы и принципы расчета.

Расчеты электрических цепей с нелинейными сопротивлениями построены на использовании графических методов преобразования цепей на основе законов Кирхгофа. Путем постепенной замены последовательно или параллельно соединенных элементов можно получить вольт-амперную характеристику всей цепи и ее отдельных участков, по которым определяют токи и напряжения в ветвях.

Для последовательного соединения нелинейных элементов (рис. 2а) получение эквивалентной вольт-амперной характеристики (ВАХ) выполняется путем графического сложения напряжений каждого из элементов при одних значениях тока (рис.2б).

Для параллельного соединения нелинейных элементов (рис.3а) получение эквивалентной вольт-амперной характеристики (ВАХ) выполняется путем графического сложения токов каждого из элементов при одних значениях напряжения (рис.3б).

Для построения результирующей ВАХ смешанного соединения нелинейных элементов (рис. 4а) на первом этапе выполняется построение промежуточной ВАХ параллельно соединенных элементов $(I_2+I_3)(U_{23})$. Затем промежуточная ВАХ складывается с ВАХ нелинейного элемента, находящегося в общей части цепи, как для последовательного соединения (рис. 4б).

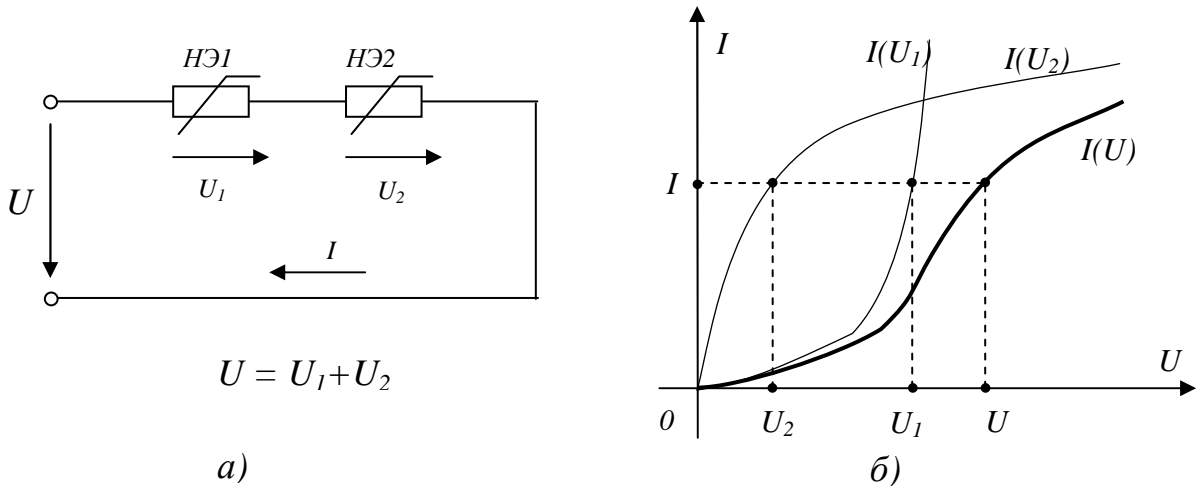


Рис.2. Последовательное соединение нелинейных элементов

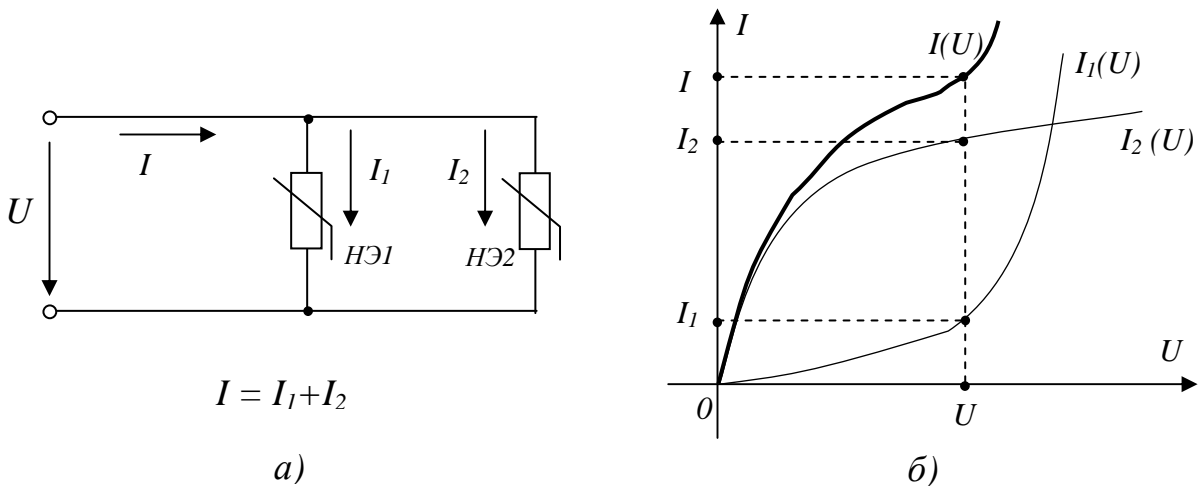


Рис.3. Параллельное соединение нелинейных элементов

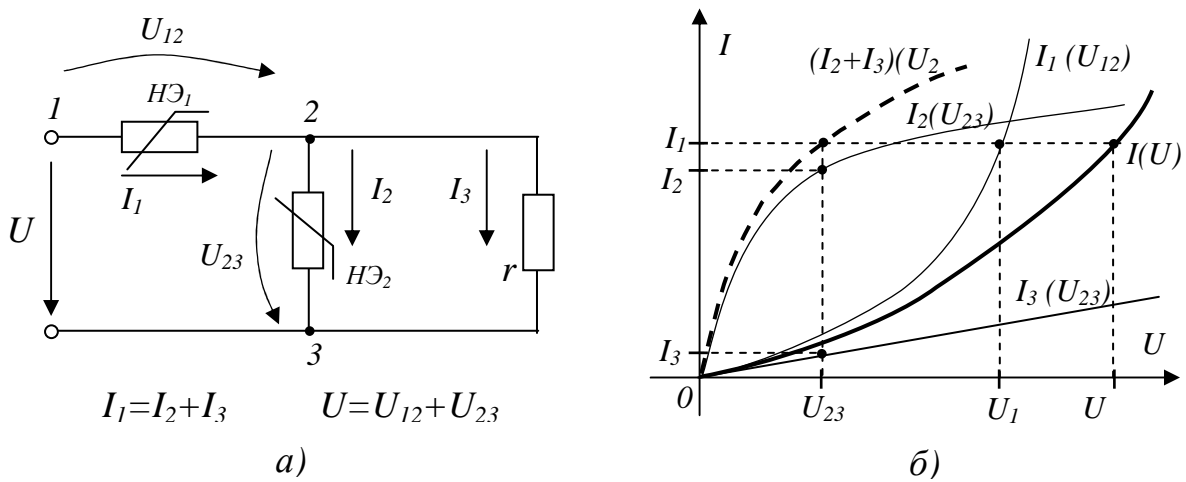


Рис. 4 Смешанное соединение нелинейных элементов

Расчет нелинейной электрической цепи (рис. 5а) методом двух узлов приведен на рис. 5б. На первом этапе выполняется построение вольт-амперных характеристик всех ветвей рассматриваемой цепи $I_1(U_{ab})$, $I_2(U_{ab})$ и $I_3(U_{ab})$. При этом используются выражения, полученные с помощью второго закона Кирхгофа:

$$U_{ab} = E_1 - U_1, \quad U_{ab} = U_2, \quad U_{ab} = E_3 - I_3 r.$$

Затем параллельно соединенные первая и третья ветви заменены эквивалентной с вольт-амперной характеристикой $(I_1 + I_3)(U_{ab})$, полученной путем графического сложения токов. На основании первого закона Кирхгофа $I_1 + I_3 = I_2$, который выполняется в точке пересечения вольт-амперных характеристик $(I_1 + I_3)(U_{ab})$ и $I_2(U_{ab})$ определены значения тока I_2 и узлового напряжения U_{ab} . По полученному значению U_{ab} , с помощью вольт-амперных характеристик $I_1(U_{ab})$ и $I_3(U_{ab})$ определены токи I_1 и I_3 .

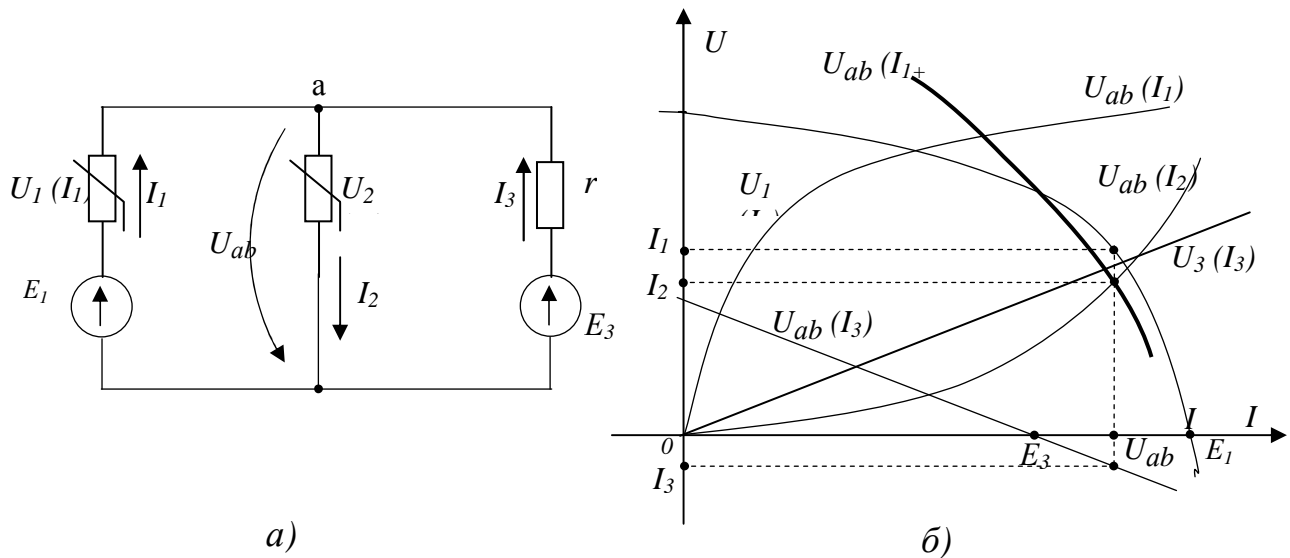


Рис. 5 Расчет нелинейной цепи методом двух узлов

Расчет сложной нелинейной электрической цепи, содержащей один нелинейный элемент (рис.6 а) рационально выполнять, используя метод эквивалентного генератора. Нелинейный элемент удаляется из схемы, а оставшаяся линейная часть схемы представляется в виде активного двухполюсника (рис.6 б, в).

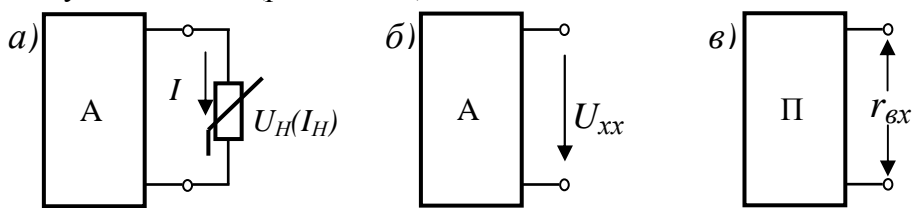


Рис.6

Параметры активного двухполюсника, необходимые для построения его вольт-амперной характеристики (U_{xx} , r_{6x}) определяются известными методами расчета линейных

цепей. После этого задача нахождения тока (напряжения) нелинейного элемента решается графически, путем построения вольт-амперной характеристики активного двухполюсника (по двум точкам – холостого хода и короткого замыкания) и вольт-амперной характеристики нелинейного элемента. Далее определяются параметры точки их пересечения (U_H и I_H).

Расчет токов в остальных ветвях выполняется каким-либо из методов. Причем нелинейный элемент в схеме заменяется линейным элементом с сопротивлением $r_H = \frac{U_H}{I_H}$ или источником ЭДС $E = U_H$ или источником тока $J = I_H$.

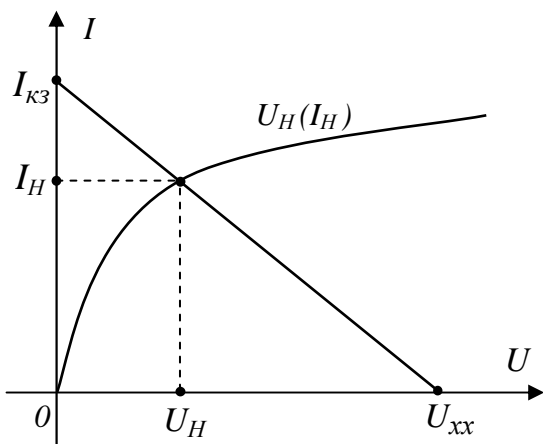


Рис.7