

Нелинейные электрические цепи постоянного тока.

Нелинейным элементом электрической цепи считается элемент, значения параметров которого зависят от значения тока данного элемента или напряжения на его выводах.

К нелинейным элементам электрических цепей относятся разнообразные полупроводниковые приборы, устройства, содержащие намагничивающие обмотки с ферромагнитными магнитопроводами (при переменном токе), лампы накаливания, электрическая дуга и др.

Нелинейные элементы дают возможность решать многие технические задачи, так, с помощью нелинейных элементов можно осуществить преобразование переменного тока в постоянный, усиление электрических сигналов, генерирование электрических сигналов различной формы, стабилизацию тока и напряжения, изменение формы сигнала и т.д.

Важнейшей характеристикой нелинейных элементов является вольт-амперная характеристика (в.а.х.), представляющая собой зависимость между током нелинейного элемента и напряжением на его выводах.

ВАХ нелинейных элементов весьма разнообразны и для некоторых из них представлены на рис. 1.29 а...д.

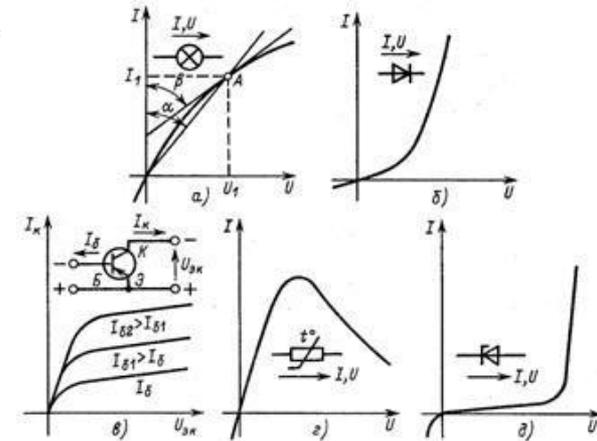


Рис 1.29

Свойства нелинейных элементов характеризуют параметром-сопротивлением. Различают два вида сопротивлений нелинейных элементов: *статическое* и *дифференциальное*.

Статическое сопротивление дает представление о соотношении конечных значений напряжения и тока нелинейного элемента и определяется в соответствии с законом Ома. Например, для точки А в.а.х. (рис.1.29.а) статическое сопротивление

где mU и mI - масштабные коэффициенты напряжения и тока.

Дифференциальное сопротивление позволяет судить о соотношении приращений напряжения и тока и определяется следующим образом:

К нелинейным электрическим цепям, то есть к цепям, содержащим нелинейные элементы, применимы основные законы электрических цепей: законы Ома и законы Кирхгофа, которые записываются для мгновенных значений токов и напряжений. Для расчета нелинейных электрических цепей применяется в большинстве случаев графоаналитический метод. Кроме того используется метод кусочно-линейной аппроксимации, когда в предлагаемом диапазоне изменения тока или напряжения нелинейного элемента его в.а.х. можно заменить прямой линией. При этом расчет можно производить и аналитическим методом.

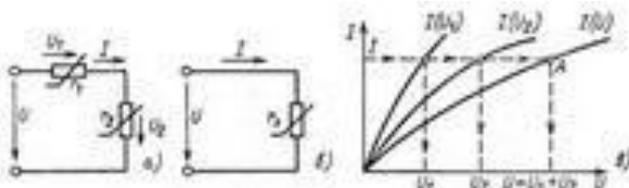


Рис 1.31

Графоаналитический метод расчета нелинейных электрических цепей:

Предположим, что имеется электрическая цепь, схема которой приведена на рис. 1.30, а. В этой цепи нелинейный элемент g_1 соединен последовательно с активным двухполюсником А, который может быть любой сложности.

Расчет данной электрической цепи следует начать с замены активного двухполюсника эквивалентным генератором с параметрами $E_{э\text{кв}} = U_x$ и $r_{0\text{э\text{кв}}}$ (рис. 1.30, б) согласно методу эквивалентного генератора. Для дальнейшего расчета целесообразно воспользоваться методом графического решения двух уравнений с двумя неизвестными. Одним из уравнений следует считать зависимость $I(U)$ нелинейного элемента, которой соответствует его в.а.х., приведенная на рис.1.30в. Другое уравнение, связывающее тот же ток I и то же напряжение U , нетрудно получить по второму закону Кирхгофа. Применяв его к цепи с эквивалентным генератором (рис. 1.30, б), получим:

Поскольку зависимость $I=f(U)$ линейная, график $I=f(U)$ может быть построен по двум точкам (рис.1.30,в). Например, в режиме холостого хода эквивалентного генератора $I=0$ и $U=U_x = E_{э\text{кв}}$, в режиме короткого замыкания $U=0$, $I=I_{к\text{з}} = E_{э\text{кв}} / r_{0\text{э\text{кв}}}$.

Очевидно, искомые ток I и напряжение U определяются точкой Б пересечения в.а.х. $I(U)$ нелинейного элемента и графика $I=f(U)$ эквивалентного генератора.

Если к двухполюснику будут подключены два нелинейных элемента g_1 и g_2 , соединенные последовательно (рис. 1.31 а), то перед расчетом согласно методике, изложенной выше, необходимо заменить их эквивалентным нелинейным элементом g_3 (рис. 1.31 б) с эквивалентной в.а.х. $I(U)$ (рис.1.31в). Построение эквивалентной в.а.х. $I(U)$ производится на основании следующего соображения: при любом значении тока I напряжение U равно сумме напряжений U_1 и U_2 нелинейных элементов (рис. 1.31а), то есть

Задавшись несколькими значениями тока I по в.а.х. $I(U_1)$ и $I(U_2)$ нелинейных элементов g_1 и g_2 , находят соответствующие напряжения U_1 и U_2 , после чего согласно выражению (1.50) определяют напряжение U и строят в.а.х. $I(U)$. На рис. 1.31, в показано в качестве примера определение при токе I напряжение U одной из точек (А) в.а.х. $I(U)$.

Когда двухполюсник представляет собой источник с заданным напряжением, после построения $I(U)$ можно при любом напряжении U найти ток I , а затем с помощью в.а.х. $I(U_1)$ и $I(U_2)$ напряжения U_1 и U_2 .

При параллельном соединении двух нелинейных элементов (рис.1.32) для определения в.а.х. $I(U)$ эквивалентного нелинейного элемента g_3 (рис.1.33) необходимо воспользоваться тем, что при любом напряжении U токи связаны соотношением:

Задавшись несколькими значениями напряжения U , по в.а.х. $I(U_1)$ и $I(U_2)$ (рис.1.33б) нелинейных элементов g_1 и g_2 находят соответствующие токи I_1 и I_2 , после чего согласно (1.51) определяют ток I и строят в.а.х. $I(U)$.

При смешанном соединении нелинейных элементов следует сначала построить в.а.х. участка с параллельным соединением элементов. После этого строят в.а.х. всей цепи. Имея в распоряжении все в.а.х., нетрудно определить токи и напряжения всех элементов цепи.

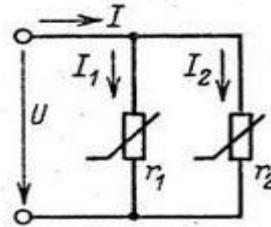


Рис 1.32

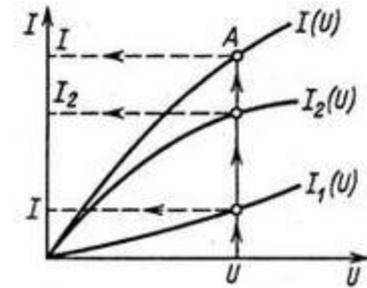
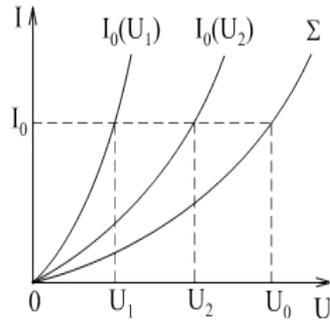
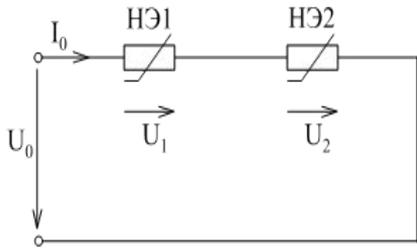


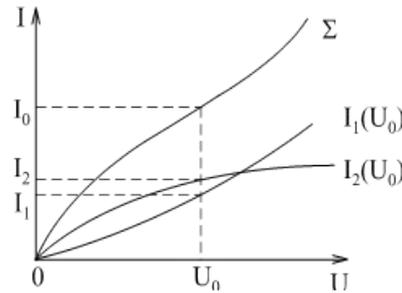
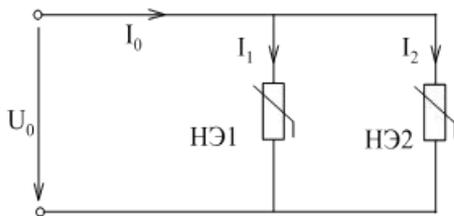
Рис 1.33

иен с активным

а) последовательное соединение.

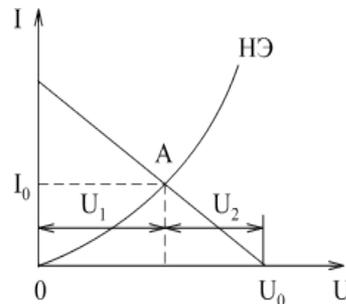
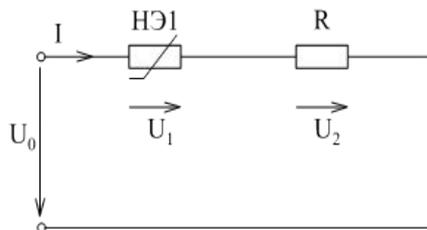


б) параллельное соединение



в) смешанное соединение

При смешанном соединении построение ВАХ цепи можно произвести поэтапно, используя правила для последовательного и параллельного соединений.

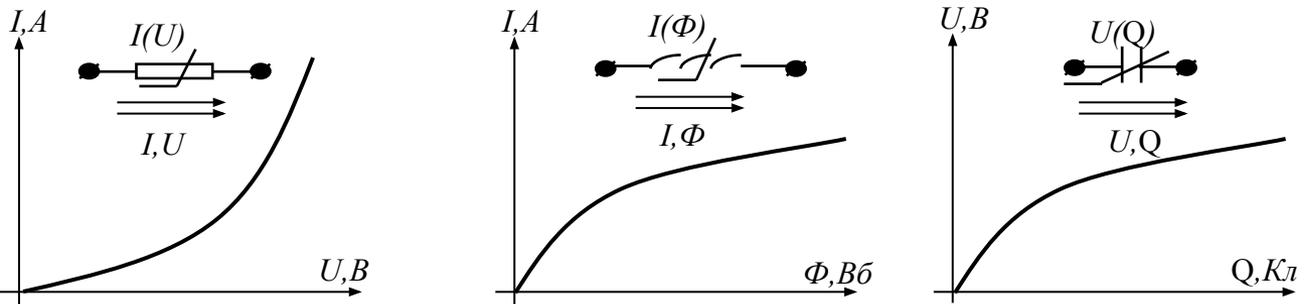


3.2. Метод опрокинутой характеристики.

Рис.12

6. Нелинейные электрические цепи

- Электрические цепи, содержащие хотя бы один нелинейный элемент, называют нелинейными цепями. Нелинейными элементами (резистивными, индуктивными, емкостными) являются элементы, параметры которых зависят от значений или направлений токов или напряжений. К нелинейным цепям в общем случае неприменим принцип наложения.
- 1. Важнейшей характеристикой нелинейных элементов является *вольт-амперная характеристика (ВАХ)*, $U(I)$ или $I(U)$. Их обычно получают обычно экспериментально.
- На рис. приведены электрические характеристики **НЭ**. Особенно много **НЕ** среди полупроводниковых приборов



2. Параметры НЕ. Различают два параметра: статическое и дифференциальное сопротивления.

Под **статическим сопротивлением** НЭ понимается отношение постоянного напряжения на НЭ к току через него:

$$R_{cm} = U/I \quad R_{cm} = m_R \operatorname{tg} \alpha \quad (1.1)$$

Дифференциальным сопротивлением называется величина $R_\delta = dU/dI$, характеризующая НЭ при малых отклонениях от рассматриваемой точки нелинейной характеристики. Дифференциальное сопротивление определяется как тангенс угла наклона касательной к характеристике в каждой точке, его вычисляют чаще всего через малые приращения:

$$R_\delta = m_R \operatorname{tg} \beta \quad (1.2)$$

В общем случае статическое и дифференциальное сопротивления не равны друг другу. Эти понятия совпадают только для линейных сопротивлений.

Статическое сопротивление всегда положительно, дифференциальное может быть отрицательным.



Графоаналитический метод расчета нелинейных электрических цепей.

Аналитический метод расчета нелинейных электрических цепей.