

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Преподаватель НКСЭ  
Кривоносова Н.В.

# СОДЕРЖАНИЕ

- Нелинейные элементы
- Вольт-амперные характеристики (ВАХ) нелинейных элементов
- Классификация нелинейных элементов
- Нелинейные электрические цепи
- Методы расчета нелинейных цепей
- Графический метод расчета нелинейных цепей постоянного тока
- Вопросы

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- ◎ **Нелинейными** называются элементы, параметры которых зависят от величины и (или) направления связанных с этими элементами переменных (напряжения, тока, магнитного потока, заряда, температуры, светового потока и др.)

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

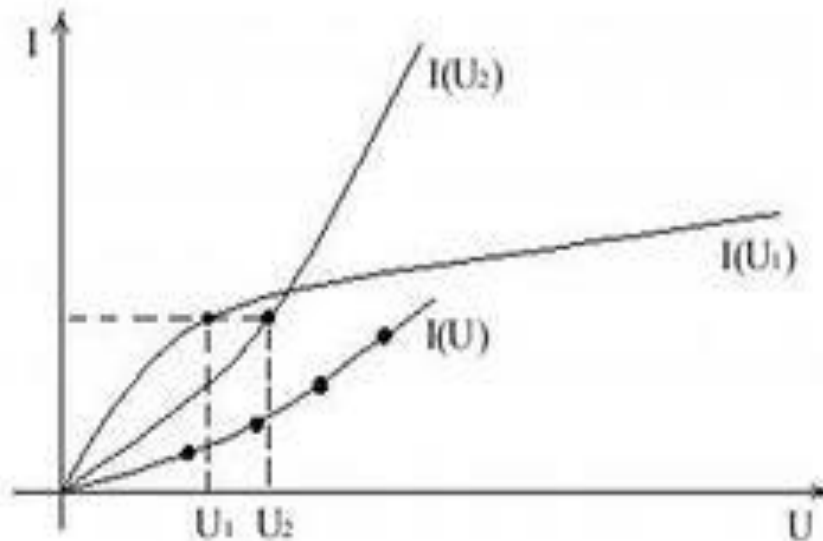
- К нелинейным элементам электрических цепей относятся разнообразные электронные, полупроводниковые и ионные приборы, устройства, содержащие намагничивающие обмотки с ферромагнитными магнитопроводами (при переменном токе), лампы накаливания, электрическая дуга и др.

# ВАХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- Важнейшей характеристикой нелинейных элементов является **вольт-амперная характеристика (ВАХ)**, представляющая собой зависимость между током нелинейного элемента и напряжением на его выводах:  $I(U)$  или  $U(I)$ .

# ВАХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

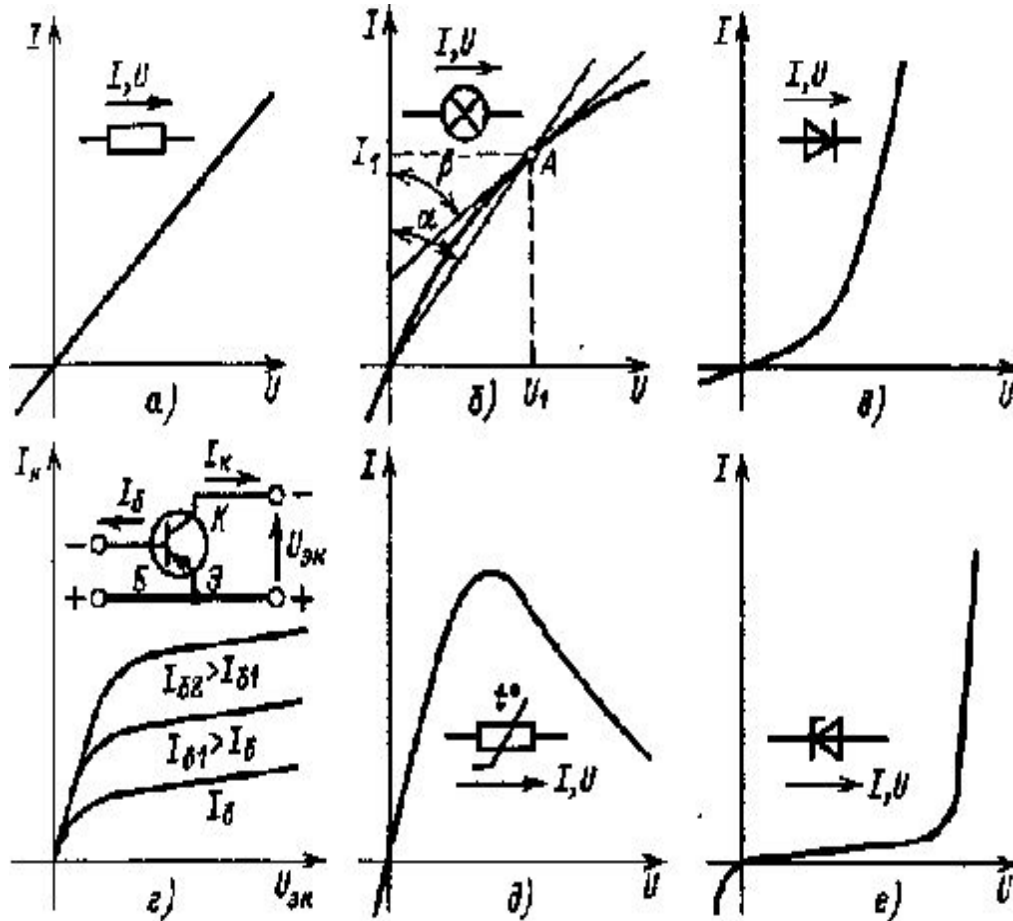
- Вольт-амперная характеристика (ВАХ) нелинейных элементов отличается от прямой линии.



# ВАХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ◎ Нелинейные элементы описываются нелинейными характеристиками, которые не имеют строгого аналитического выражения, определяются экспериментально и задаются таблично или графиками.

# ВАХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



- а — линейный элемент
- б — лампа накаливания
- в - полупроводниковый диод
- г - транзистор (при различных токах базы)
- д - терморезистор
- е - стабилитрон



# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- Нелинейные элементы можно разделить на **двух –** и **многополюсные**. Последние содержат три (различные полупроводниковые и электронные триоды) и более (магнитные усилители, многообмоточные трансформаторы, тетроды, пентоды и др.) полюсов, с помощью которых они подсоединяются к электрической цепи.

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ◎ **Нелинейные элементы можно разделить на инерционные и безынерционные.**

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ◎ **Инерционными** называются элементы, характеристики которых зависят от скорости изменения переменных. Для таких элементов **статические характеристики**, определяющие зависимость между действующими значениями переменных, отличаются от динамических характеристик, устанавливающих взаимосвязь между мгновенными значениями переменных.

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ◎ **Безынерционными** называются элементы, характеристики которых не зависят от скорости изменения переменных.  
Для таких элементов **статические и динамические характеристики совпадают**.

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- Понятия инерционных и безынерционных элементов относительно: элемент может рассматриваться как безынерционный в допустимом (ограниченном сверху) диапазоне частот, при выходе за пределы которого он переходит в разряд инерционных.

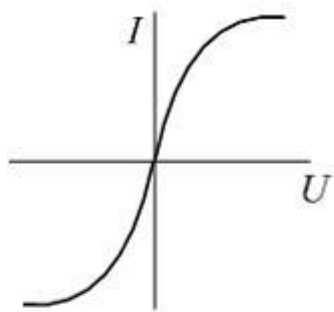
# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- ⦿ В зависимости от вида характеристик различают нелинейные элементы с **симметричными** и **несимметричными** характеристиками.

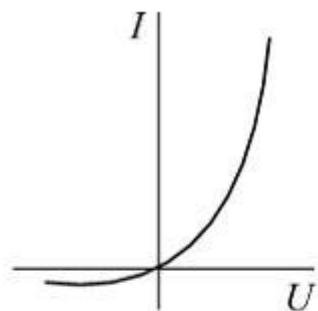
# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Симметричной** называется характеристика, не зависящая от направления определяющих ее величин, т. е. имеющая симметрию относительно начала системы координат  $F(x) = -F(-x)$ .
- Для **несимметричной** характеристики это условие не выполняется, т. е.  $F(x) \neq -F(-x)$

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

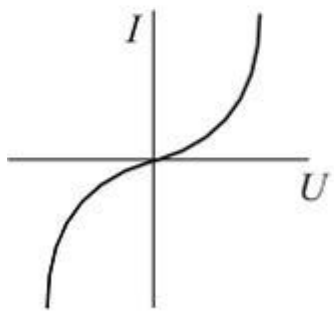


*a*



*б*

*a, б* – симметричные ВАХ



*в*



*г*

*б, г* – несимметричные ВАХ



# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- По типу характеристики можно также разделить все нелинейные элементы на элементы с **однозначной** и **неоднозначной** характеристиками.
- **Однозначной** называется характеристика , у которой каждому значению **X** соответствует единственное значение **у** и наоборот.
- В случае **неоднозначной** характеристики каким-то значениям **X** может соответствовать два или более значения **у** или наоборот.

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

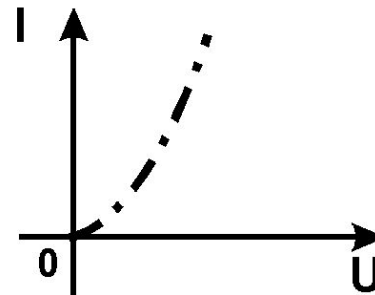
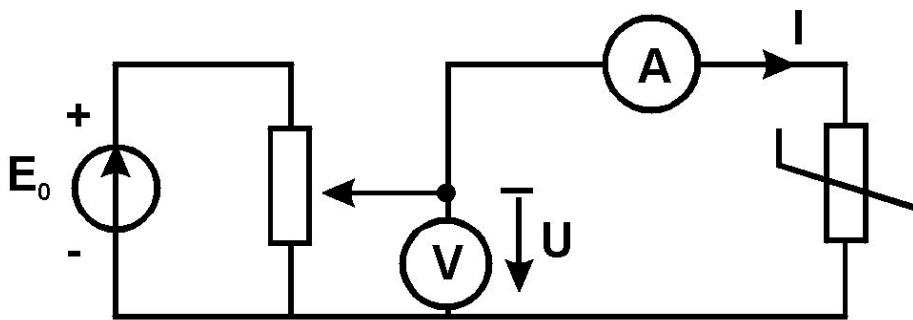
- Все нелинейные элементы можно разделить на **управляемые** и **неуправляемые**. В отличие от неуправляемых управляемые нелинейные элементы (обычно трех- и многополюсники) содержат управляющие каналы, изменяя напряжение, ток, световой поток и др. в которых, изменяют их основные характеристики.

# КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- Примеры неуправляемых нелинейных элементов: лампы накаливания, электрическая дуга, бареттер, стабилитрон, нелинейное полупроводниковое сопротивление, диоды и др.
- Примеры управляемых нелинейных элементов: электронные лампы, транзисторы, тиристоры и др.

# НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

- **Нелинейными** называются электрические цепи, содержащие нелинейные элементы



# МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ

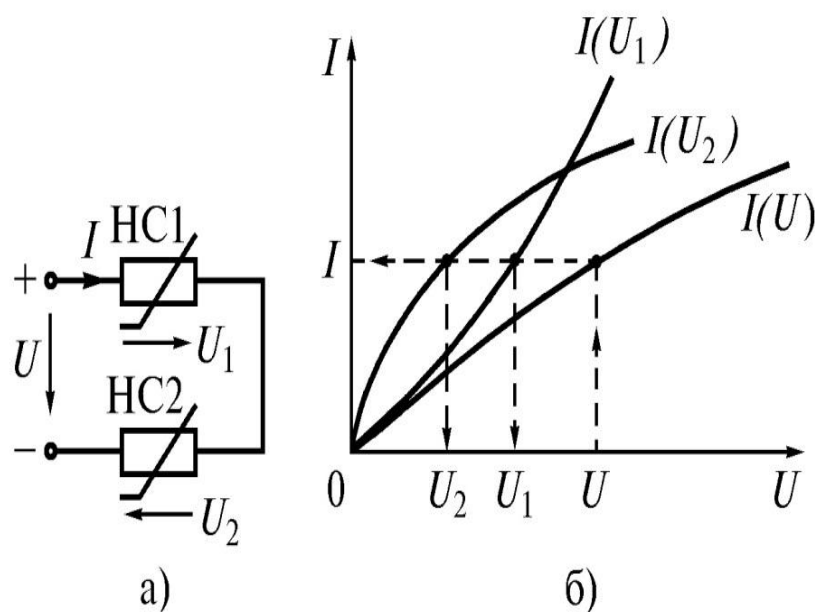
- Общих методов расчета нелинейных цепей не существует. Известные приемы и способы имеют различные возможности и области применения. В общем случае при анализе нелинейной цепи описывающая ее система нелинейных уравнений может быть решена следующими методами:
  - графическими;
  - аналитическими;
  - графо-аналитическими;
  - итерационными.

# ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При использовании этих методов задача решается путем графических построений на плоскости. При этом характеристики всех ветвей цепи следует записать в функции одного общего аргумента. Благодаря этому система уравнений сводится к одному нелинейному уравнению с одним неизвестным. Формально при расчете различают цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединениями.

# ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

## Цепи с последовательным соединением нелинейных резистивных элементов



а - схема  
последовательного  
соединения двух  
нелинейных элементов  
НЭ1 и НЭ2

б - характеристики  $I(U_1)$  и  
 $I(U_2)$  для НЭ1 и НЭ2  
соответственно

При последовательном соединении нелинейных резисторов в качестве общего аргумента принимается ток, протекающий через последовательно соединенные элементы.

# ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

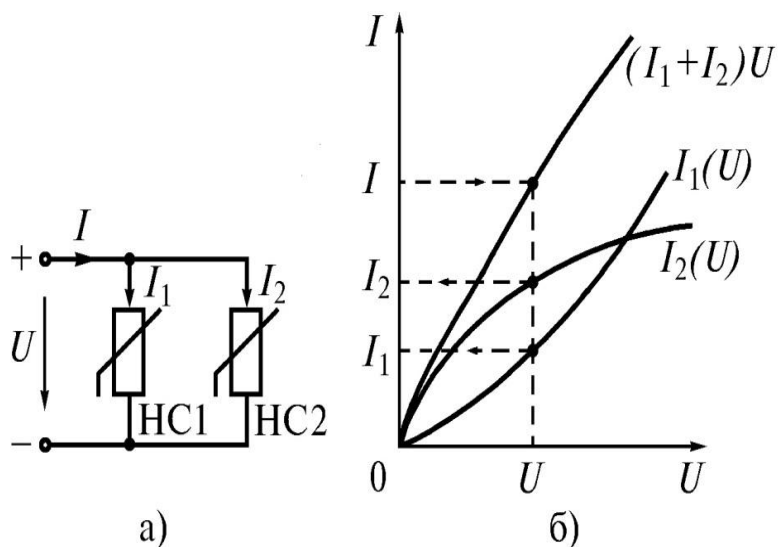
## Цепи с последовательным соединением нелинейных резистивных элементов

По заданным ВАХ отдельных нелинейных резистивных элементов  $U_1(I)$ ,  $U_2(I)$  в системе декартовых координат  $U-I$  строится результирующая зависимость  $U(I) = \sum U_n(I)$  (рис б). Затем на оси напряжений откладывается точка, соответствующая в выбранном масштабе заданной величине напряжения на входе цепи, из которой восстанавливается перпендикуляр до пересечения с зависимостью  $U(I)$ . Из точки пересечения перпендикуляра с кривой  $U(I)$  опускается ортогональ на ось токов – полученная точка соответствует искомому току в цепи, по найденному значению которого с использованием зависимостей  $U_1(I)$  и  $U_2(I)$  определяются напряжения  $U_1$  и  $U_2$  на отдельных нелинейных резистивных элементах.



# ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

## Цепи с параллельным соединением нелинейных резистивных элементов



а - схема параллельного  
соединения двух нелинейных  
элементов НЭ1 и НЭ2

б - характеристики  $I(U_1)$  и  $I(U_2)$   
для НЭ1 и НЭ2  
соответственно

При параллельном соединении нелинейных резисторов в качестве общего аргумента принимается напряжение, приложенное к параллельно соединенным элементам.

# ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

## Цепи с параллельным соединением нелинейных резистивных элементов

По заданным ВАХ  $I_1(U)$ ,  $I_2(U)$  отдельных резисторов в системе декартовых координат  $U-I$  строится результирующая зависимость  $I(U) = \sum I_n(U)$ . Затем на оси токов откладывается точка, соответствующая в выбранном масштабе заданной величине тока источника на входе цепи (при наличии на входе цепи источника напряжения задача решается сразу путем восстановления перпендикуляра из точки, соответствующей заданному напряжению источника, до пересечения с ВАХ  $I_n(U)$ , из которой восстанавливается перпендикуляр до пересечения с зависимостью  $I(U)$ . Из точки пересечения перпендикуляра с кривой  $I(U)$  опускается ортогональ на ось напряжений – полученная точка соответствует напряжению на нелинейных резисторах, по найденному значению которого с использованием зависимостей  $I_n(U)$  определяются токи  $I_1$  и  $I_2$  в ветвях с отдельными резистивными элементами.

# ВОПРОСЫ

1. Какие элементы электрических цепей являются не линейными?
2. Как классифицируются нелинейные элементы?
3. Назовите примеры нелинейных элементов цепей?
4. Что такое вольт-амперная характеристика?
5. В чем заключается графический метод расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока?

# ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ РЕСУРСЫ

- <http://www.ups-info.ru/>
- <http://www.toehelp.ru/>
- <http://www.induction.ru/>
- <http://dvo.sut.ru/>

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

