

Электротехника и Электроника

Правила поведения на лекции



Литература

1. *Электротехника и электроника. Книга 1.*
Электрические и магнитные цепи. Учеб. для
вузов. под ред. В.Г. Герасимова. М.
Энергоатомиздат, 1996.
УДК 621.3, Э – 455.
2. *Электротехника и электроника. Книга 2.*
Электромагнитные устройства и электрические
машины. Учеб. для вузов. под ред. В.Г.
Герасимова. М. Энергоатомиздат, 1997.
УДК 621.3, Э – 455.

История электротехники

3000 г. до н.э

Античность,
Средневековье,
Возрождение

Люди узнали, что есть электрические заряды, что они бывают разных знаков, что они убегают по металлу, а вызываются потиранием неметаллического предмета шерстью.

1600 г. н.э

Введено понятие электричества

1650 г.

Создана первая электростатическая машина – первый источник постоянного тока

1700 г.

1745 г.

Открыт конденсатор и первый прибор для оценки тока

1785 г.

Закон Кулона

Опыты Гальвани, открытие действия тока на живые организмы

1799 г.

Создание первого стабильного источника напряжения (электрохимический источник), открытие: ток течет только в замкнутой цепи (Вольта)

1800 г.

Становление основ электротехники

- 
- 1820 г. Найдена связь между током и магнитным полем (Эрстед), выведен закон действия поля на постоянный ток (з-н Био-Савара-Лапласа)
 - 1826 г. З-н Ампера, з-н Ома для резистора
 - 1831 г. З-ны Ома в дифференциальной форме для всех пассивных элементов
Определение основных понятий: тока, напряжения; создание точных измерительных приборов
 - 1841 г. З-н Джоуля-Ленца
 - 1847 г. З-ны Кирхгофа
 - 1861-1864 г. Теория электромагнетизма Максвелла
 - 1870 г. Выделение электротехники в самостоятельную науку
 - 1900 г. Электрификация, развитие электромеханики

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА - это

область науки и техники,
использующая электрические и
магнитные явления в практических
целях

Раздел 1. Цепи постоянного тока

1.1. Понятия и определения

Электрической цепью называется совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которой могут быть описаны с помощью понятий тока и напряжения.

Источник – устройство, преобразующее какой-либо вид энергии в электрическую энергию.

Приемник – устройство, в котором электрическая энергия преобразуется в какой-либо другой вид энергии.

1.1. Понятия и определения

Электрический ток – упорядоченное движение электрических зарядов.

Напряжение – разность электрических потенциалов на некотором участке электрической цепи между крайними точками этого участка.

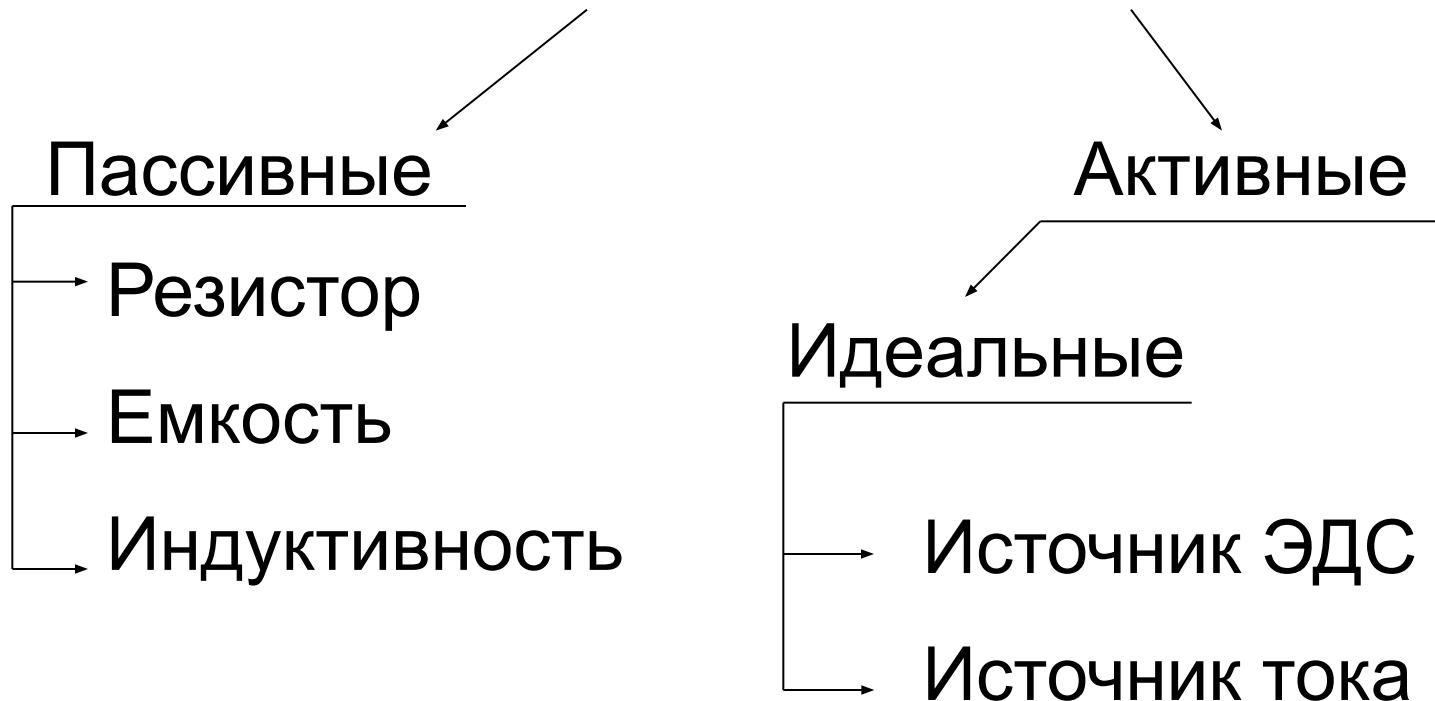
ЭДС – результат преобразования какой-либо энергии в электрическую с разделением зарядов разных знаков под действием сторонних сил.

1.1. Понятия и определения

Схема замещения – графическое изображение, состоящее из условных изображений элементов, показывающее соединение этих элементов.

1.2. Основные элементы схем замещения

Элементы схем замещения

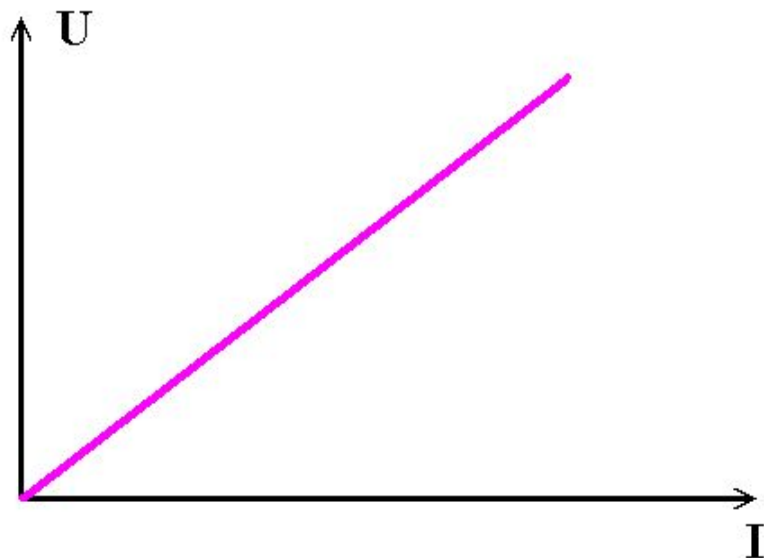


**ВАХ (вольт-амперная характеристика) –
основная характеристика любого элемента**

- Приемники электрической энергии

1. Резистор (активный приемник)

Резистор – элемент, характеризующий необратимое преобразование электрической энергии (потери на нагрев, излучение, механическую работу и т.п.)



Резистор характеризуется электрическим сопротивлением (проводимостью).

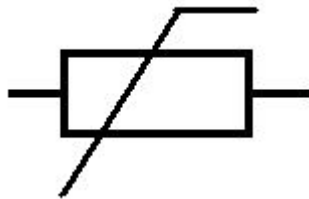
ВАХ резистора описывается законом Ома

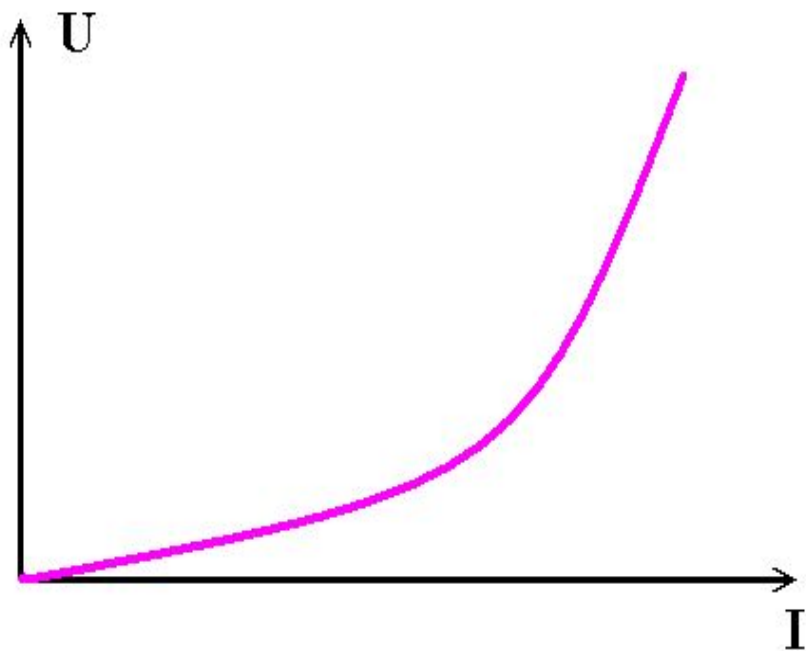
- **Нелинейные активные приемники**

Сопротивление нелинейного приемника зависит от тока, ВАХ не является прямой линией.

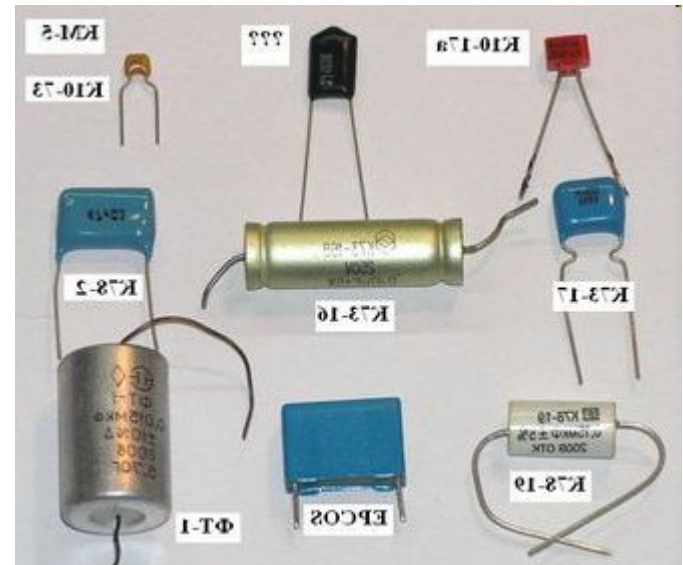
Графическое обозначение
активных приемников:

Линейный -- 

Нелинейный -- 



2. Реактивные приемники. Емкость



1.2. Основные элементы схем замещения

2. Реактивные приемники. Емкость.

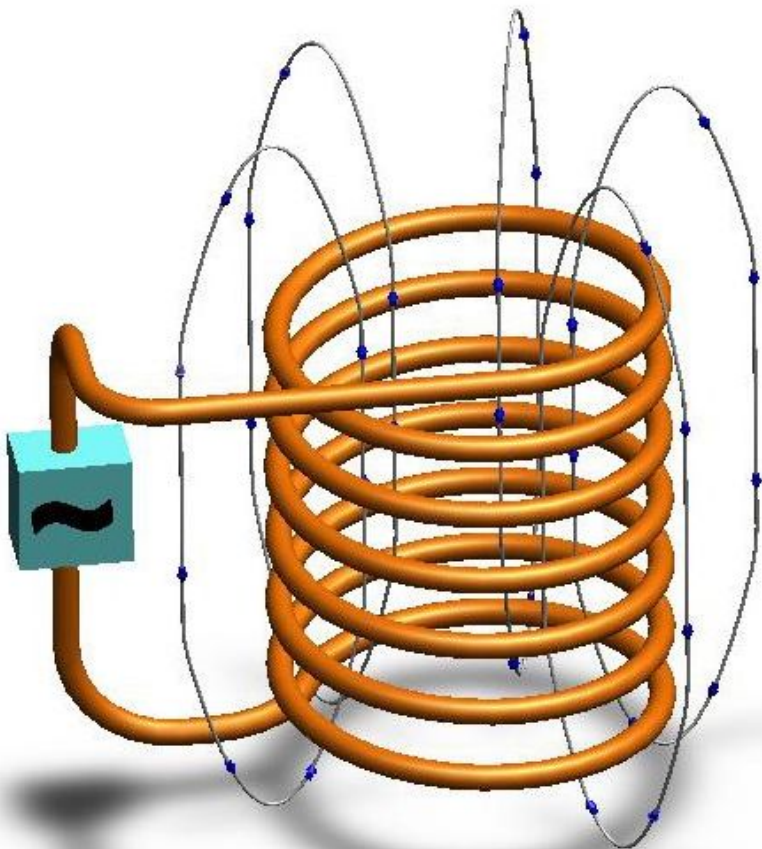
Емкость – идеальная модель конденсатора – устройства, накапливающего заряд.

Емкость конденсатора – это коэффициент пропорциональности между зарядом конденсатора и напряжением, возникающим на его обкладках

Закон Ома для емкости

$$i_c = C \frac{dU_c}{dt} \quad \text{или} \quad U_c = \frac{1}{C} \int i_c dt$$

3. Катушка индуктивности



1.2. Основные элементы схем замещения

- 3. Реактивные элементы. Индуктивность.

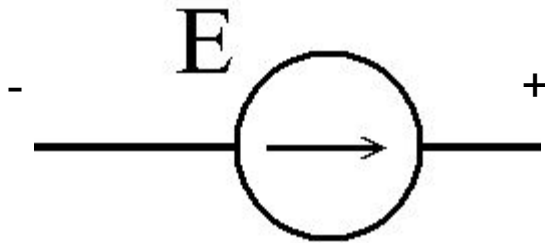
Индуктивность – идеальная модель катушки индуктивности.

Индуктивность L – коэффициент пропорциональности между током и создаваемым катушкой магнитным потоком.

Закон Ома для индуктивности

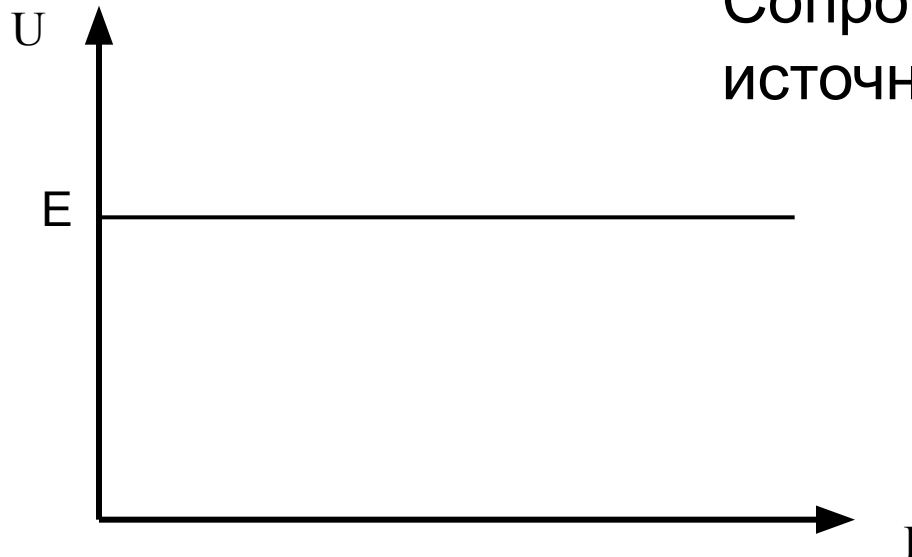
$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{или} \quad i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$$

4. Идеальный источник ЭДС



Напряжение на зажимах идеального источника ЭДС всегда равно E , независимо от сопротивления подключаемой нагрузки (тока).

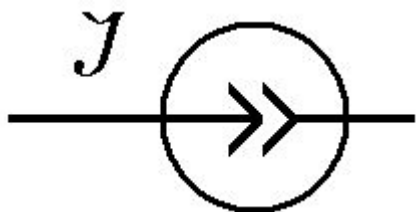
Сопротивление идеального источника ЭДС равно нулю!



Уравнение ВАХ

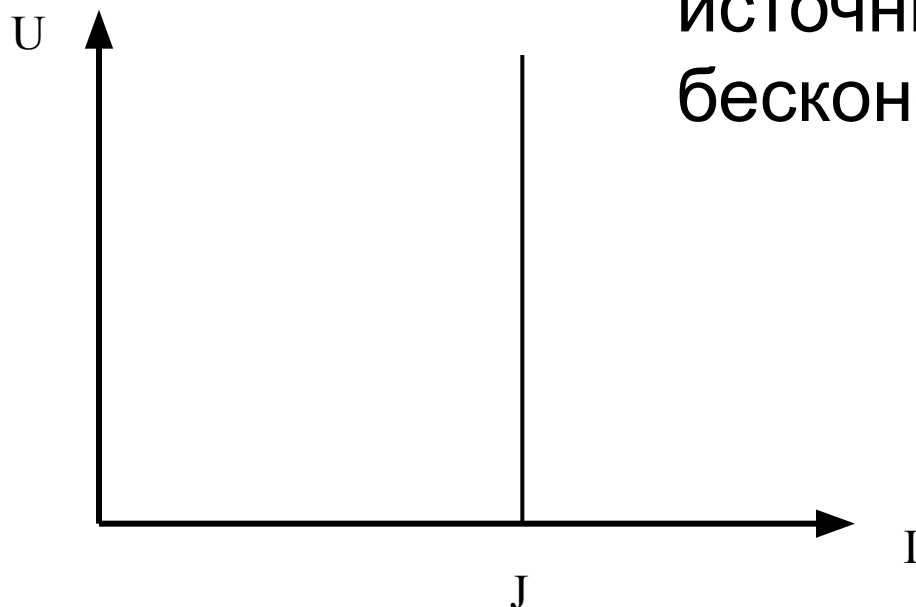
$$U = E$$

5. Идеальный источник тока



Ток идеального источника тока не зависит от напряжения на его зажимах.

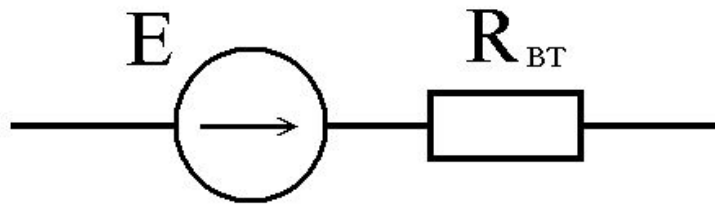
Сопротивление идеального источника тока равно бесконечности!



Уравнение ВАХ:

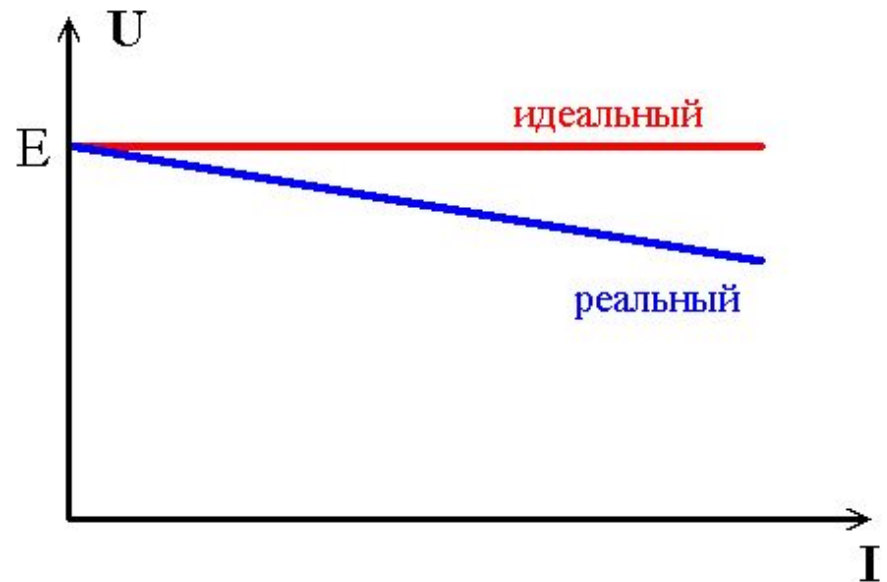
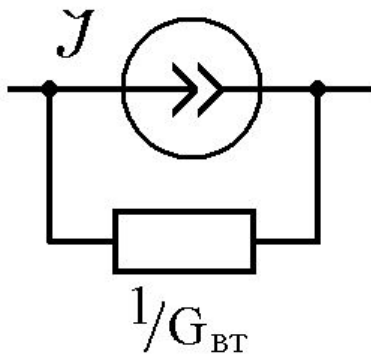
$$I = J$$

6. Реальный источник



$$U = E - I \cdot R_{\text{BT}}$$

$$I = J - U \cdot G_{\text{BT}}$$



1.3. Топология электрической цепи

Электрическая цепь состоит из ветвей, узлов, контуров, двухполюсников и четырехполюсников.

Ветвь – участок цепи, в котором существует один и тот же ток.

Узел – место электрического соединения трех и более ветвей.

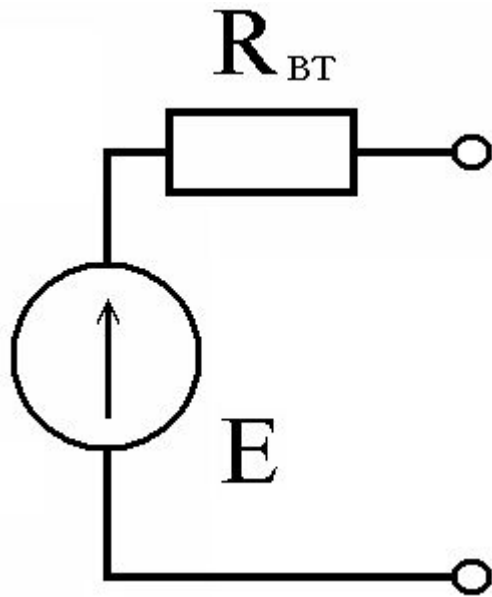
Контур – замкнутый участок электрической цепи.

Двухполюсник – участок электрической цепи, имеющий два полюса (два зажима).

Четырехполюсник – участок электрической цепи, имеющий четыре полюса (две пары зажимов), два из которых являются входом, а два – выходом.

1.4. Режимы работы источников как активных двухполюсников

Реальный источник ЭДС имеет следующие режимы работы:

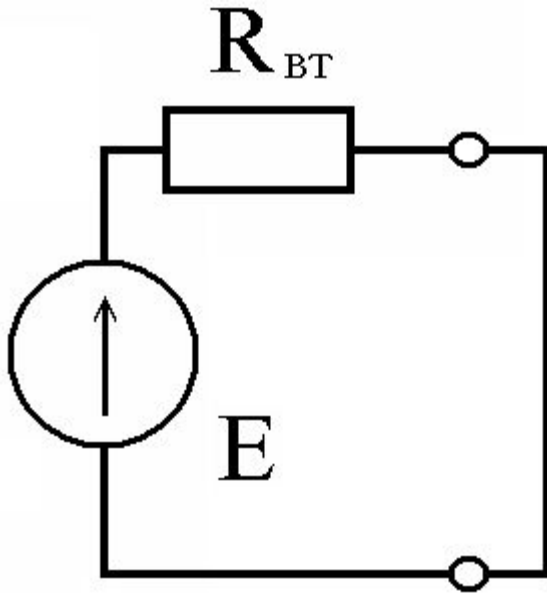


1. Холостой ход (х.х.) - это такой режим работы, при котором сопротивление нагрузки равно бесконечности, а ток нагрузки равен нулю.

Напряжение на зажимах равно величине ЭДС.

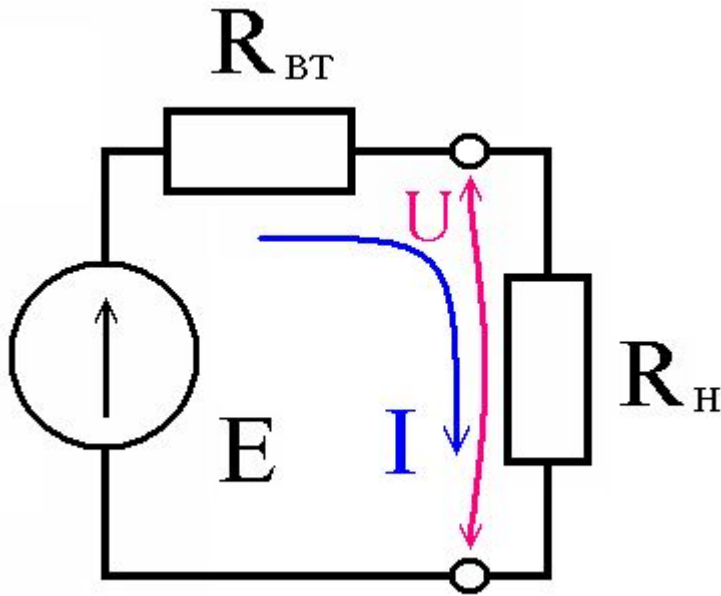
2. Режим короткого замыкания (к.з.) – это

такой режим, при котором сопротивление нагрузки равно нулю, напряжение на зажимах равно нулю, а ток нагрузки максимален и равен



$$I_{\text{кз}} = \frac{E}{R_{\text{BT}}}$$

3.Согласованный режим – это такой режим работы, при котором источник отдает максимальную мощность в нагрузку.



$$I = \frac{E}{R_{\text{ВТ}} + R_{\text{Н}}}; \quad U = I \cdot R_{\text{Н}};$$

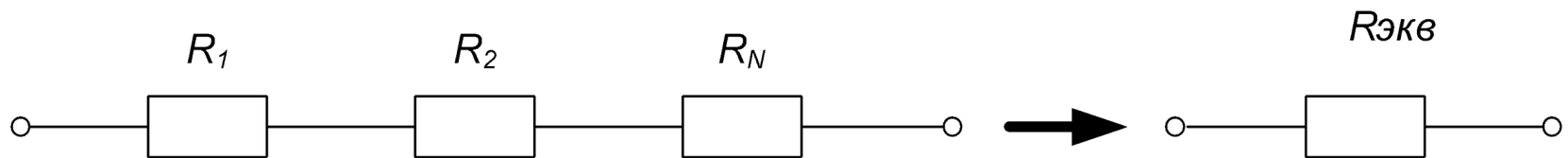
$$P = U \cdot I = \frac{E^2 \cdot R_{\text{Н}}}{(R_{\text{ВТ}} + R_{\text{Н}})^2};$$

1.4. Режимы работы источников как активных двухполюсников

4. Номинальный режим – режим, на который источник спроектирован. Этому режиму соответствует некая величина нагрузки, называемая номинальной. Режим характеризуется номинальными током и напряжением.

1.5. Эквивалентные преобразования двухполюсных участков цепи

- Последовательное соединение (при котором ток во всех элементах цепи один и тот же)



1.5. Эквивалентные преобразования двухполюсных участков цепи

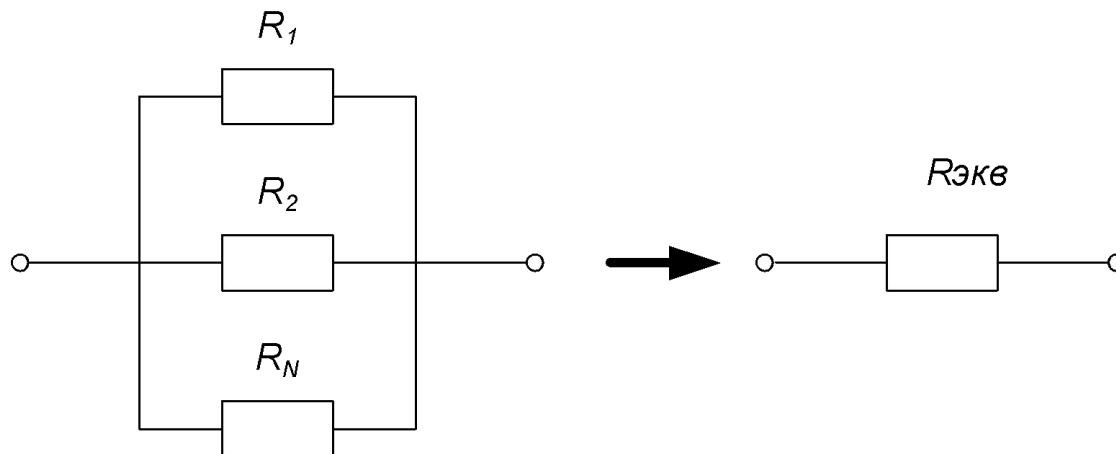
Для пассивного участка цепи преобразование будет эквивалентным, когда при том же напряжении на зажимах двухполюсника токи в исходной цепи и эквивалентном резисторе одинаковы, мощности, выделяющиеся в исходной цепи и эквивалентном резисторе, одинаковы.

1.5. Эквивалентные преобразования двухполюсных участков цепи

В общем случае условием эквивалентности является условие совпадения ВАХ исходного двухполюсного участка цепи и ВАХ эквивалентного двухполюсника.

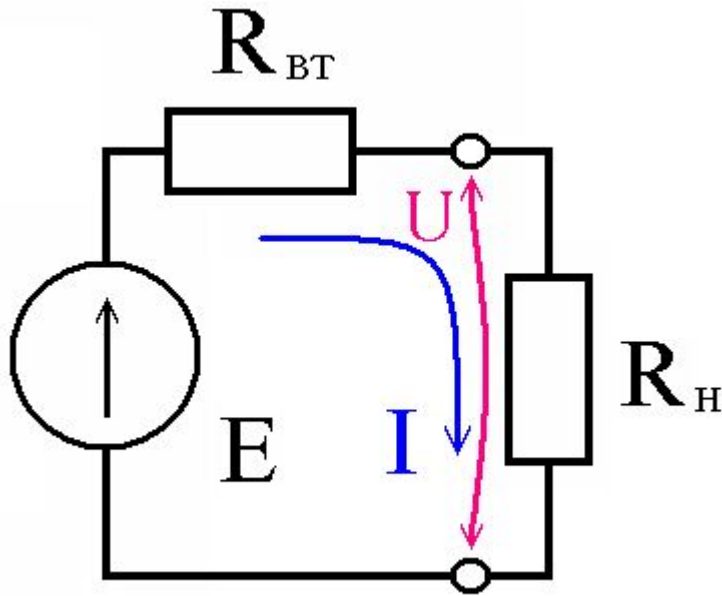
1.5. Эквивалентные преобразования двухполюсного участка цепи

- **Параллельное соединение** (при котором все элементы цепи находятся под действием одного и того же напряжения)



Любой (пассивный и активный)
двухполюсный участок цепи может
быть представлен в эквивалентном
виде (параллельном либо
последовательном)!

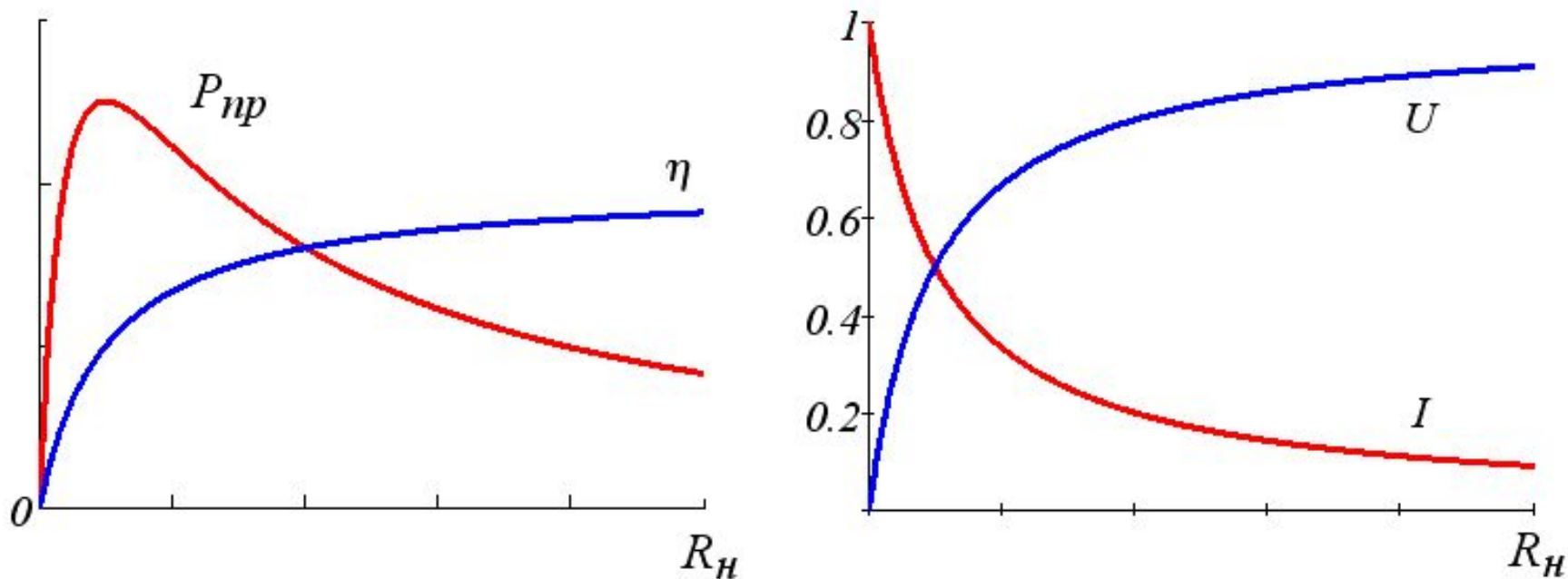
1.6. Условие передачи максимальной мощности от источника в нагрузку



$$P_{np} = I \cdot U$$

Если параметры источника неизменны, то при каком сопротивлении нагрузки будет выделяться максимальная мощность?

1.6. Условие передачи максимальной мощности от источника в нагрузку



Мощность в нагрузке максимальна, когда

$$R_H = R_{вт}$$

При этом $U = E/2$, $I = I_{кз}/2$, $\eta = 0,5$.

1.6. Условие передачи максимальной мощности от источника в нагрузку

- Мощность, выделяющаяся в нагрузке максимальна при равенстве внутреннего эквивалентного сопротивления источника и сопротивления нагрузки.
- Чем больше сопротивление нагрузки (меньше ток и больше напряжение нагрузки), тем выше КПД источника!

1.7. Основные законы электрических цепей. Уравнения Кирхгофа

Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Алгебраическая сумма падений напряжений в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС этого же контура.

$$\sum_{i=1}^m U_i = \sum_{k=1}^n E_k$$

Для составления уравнений по первому закону необходимо задать направление токов в ветвях.

Направление токов в ветвях задается произвольно.

Число уравнений равно числу узлов без одного.

Для записи уравнений по второму закону необходимо выбрать независимые контуры.

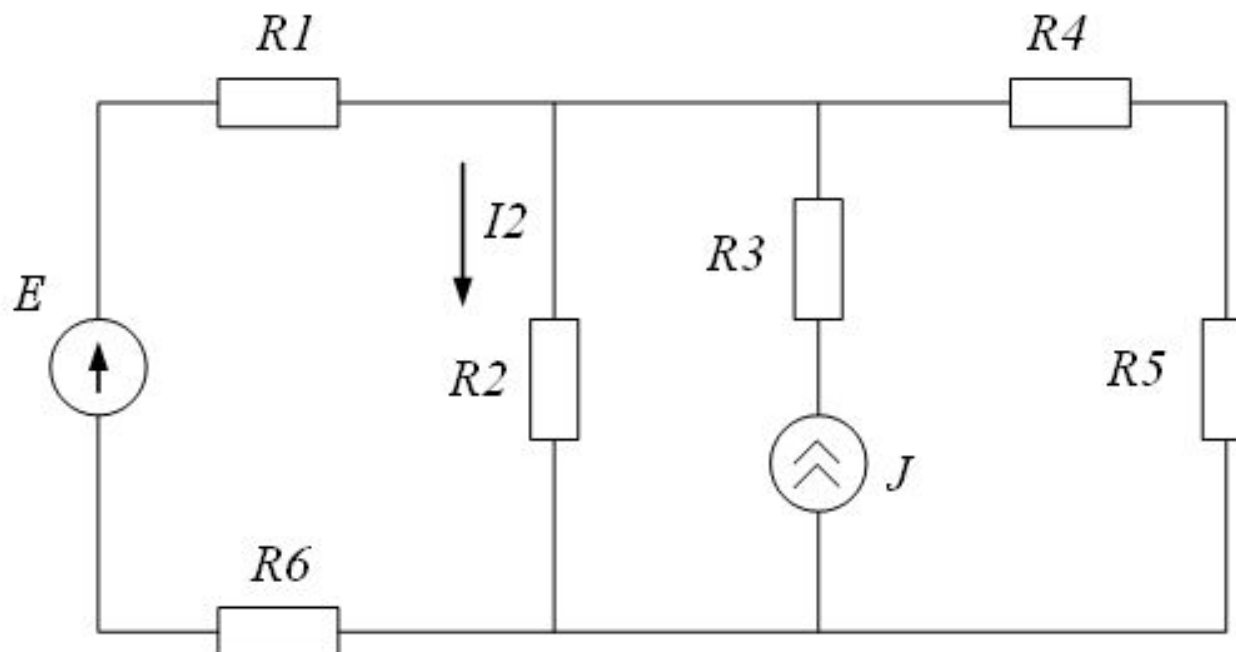
Независимым контуром называется такой контур, в составе которого есть хотя бы одна ранее не описанная ветвь.

Число независимых контуров равно числу ветвей минус число узлов плюс единица.

Для выбора знака необходимо задать направление обхода контура.

Пример

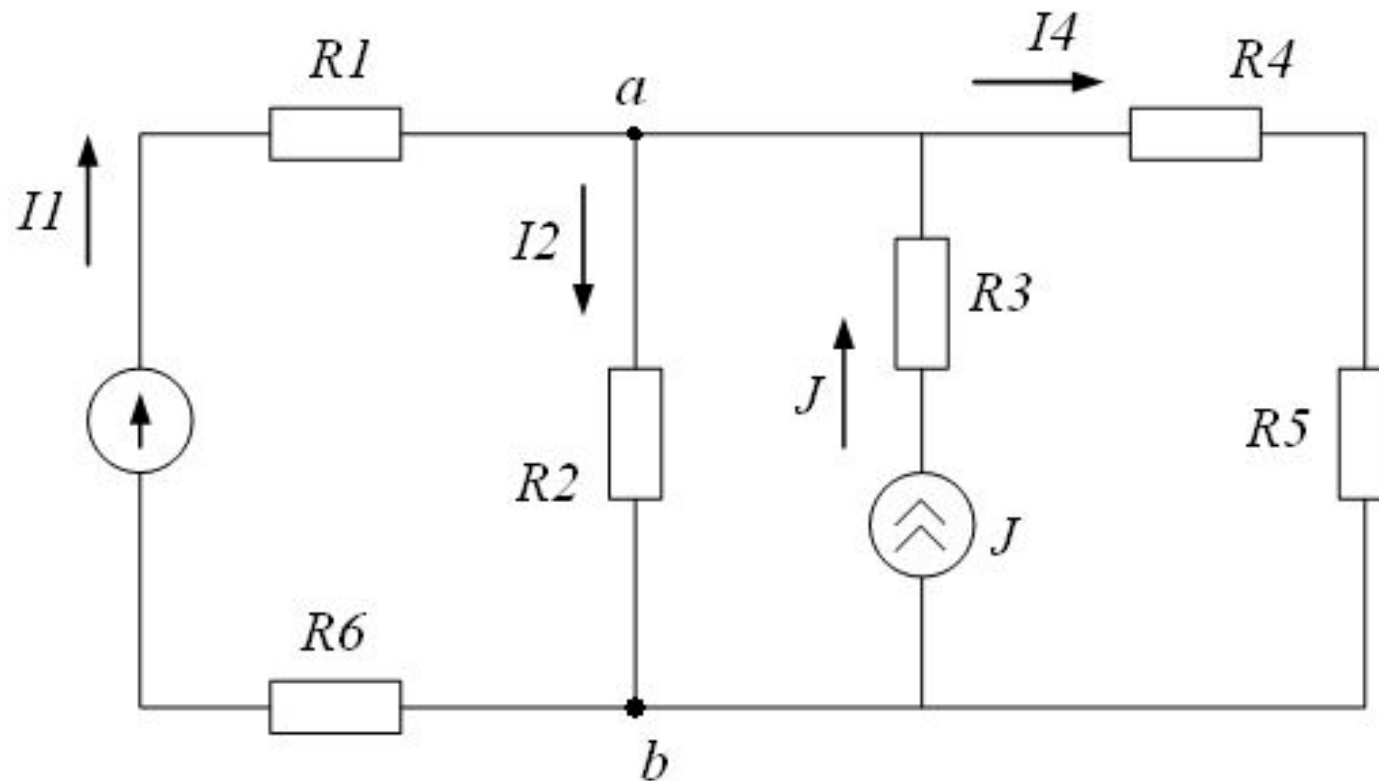
В заданной схеме определить ток I_2



$$E = 10 \text{ В}, \quad J = 2 \text{ А},$$

$$R1 = R4 = R5 = R6 = 5 \text{ Ом}, \quad R2 = 10 \text{ Ом}, \quad R3 = 3 \text{ Ом}$$

Выбор направлений токов в ветвях



1.8. Методы анализа линейных электрических цепей.

Под анализом понимают нахождение токов в ветвях схемы при известных параметрах источников и приемников.

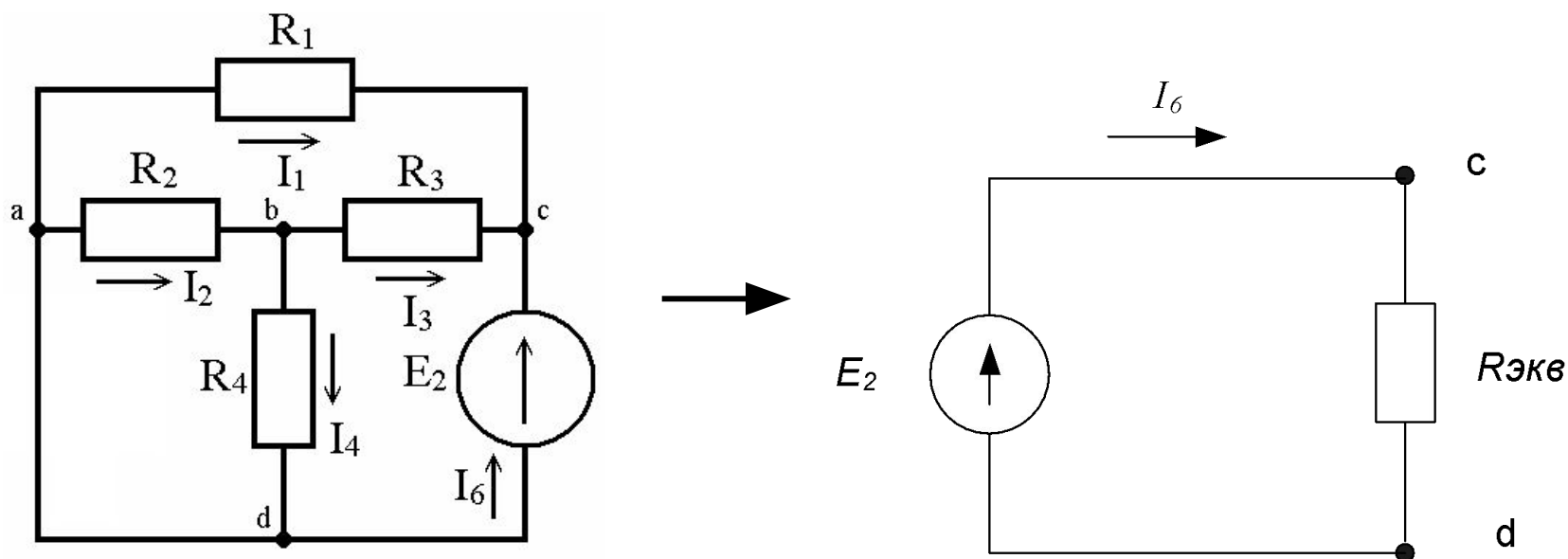
1. С использованием законов Ома и Кирхгофа.

Пусть мы имеем схему с n узлами и m ветвями. По 1у закону Кирхгофа можно составить $n-1$ уравнение, по 2у – $m-n+1$ уравнение. Всего получается m неизвестных и m уравнений!

Система разрешима!

2. Анализ электрической цепи с одним источником ЭДС. Эквивалентные преобразования.

Суть: используя эквивалентные преобразования пассивного участка цепи привести сложную схему к простому эквивалентному виду.



- метод эквивалентных преобразований можно использовать только в линейных цепях с одним источником ЭДС;
- Метод удобно использовать, если нужно найти ток через источник ЭДС

3. Метод эквивалентного активного двухполюсника

Смысл метода: привести сложную схему к простому эквивалентному виду относительно двух выбранных узлов в цепи.

Теорема об активном двухполюснике:

Любой многоэлементный активный двухполюсник может быть заменен эквивалентным активным двухполюсником, состоящим из эквивалентной ЭДС и эквивалентного сопротивления.

Алгоритм метода эквивалентного АД:

1. Выбираем интересующую нас ветвь в схеме.
2. Все, кроме этой ветви представляем в виде эквивалентного АД.
3. Рассчитываем ток в ветви, используя эквивалентные параметры АД

Какими должны быть параметры эквивалентного АД?

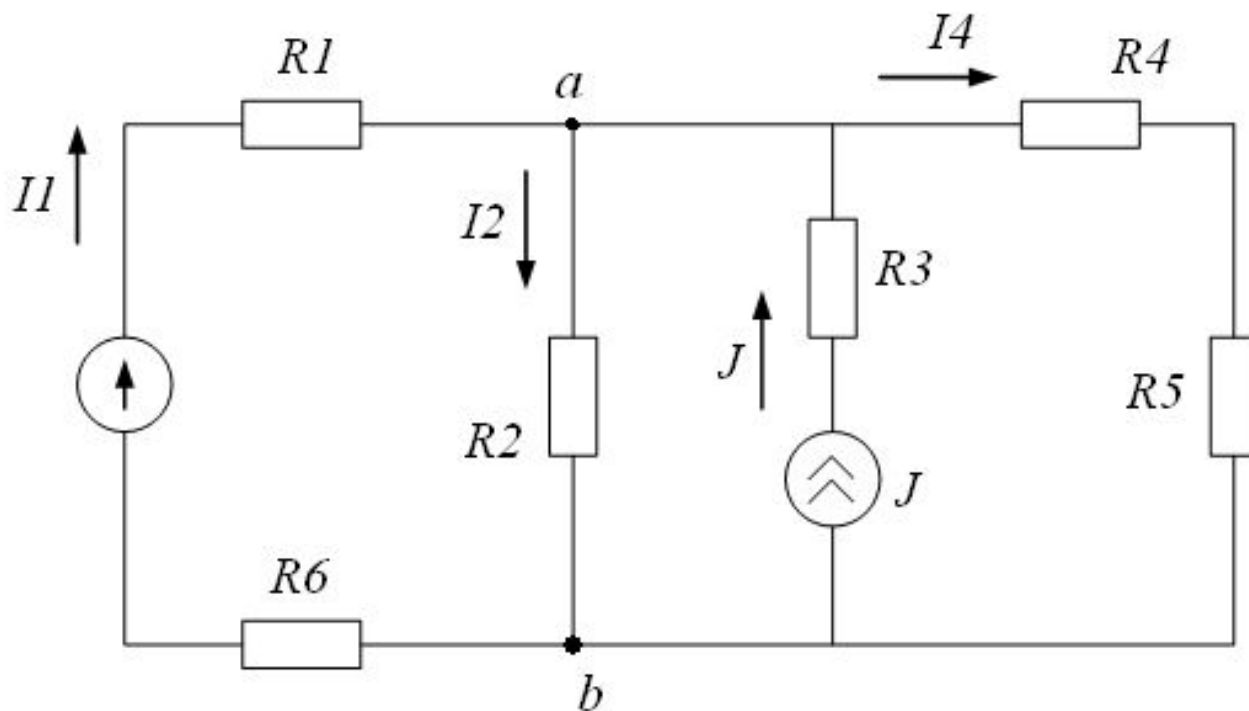
Ответ (правильный):

такими, чтобы ВАХ эквивалентного АД совпадал с ВАХ той части цепи, которую мы преобразуем в эквивалентный двухполюсник.

$$A_{y\hat{e}\hat{a}} = U_{xx_{ab}} \quad R_{y\hat{e}\hat{a}} = R_{ab}$$

Пример

В заданной схеме определить ток I_2



$$E = 10 \text{ В}, \quad J = 2 \text{ А},$$

$$R_1 = R_4 = R_5 = R_6 = 5 \text{ Ом}, \quad R_2 = 10 \text{ Ом}, \quad R_3 = 3 \text{ Ом}$$

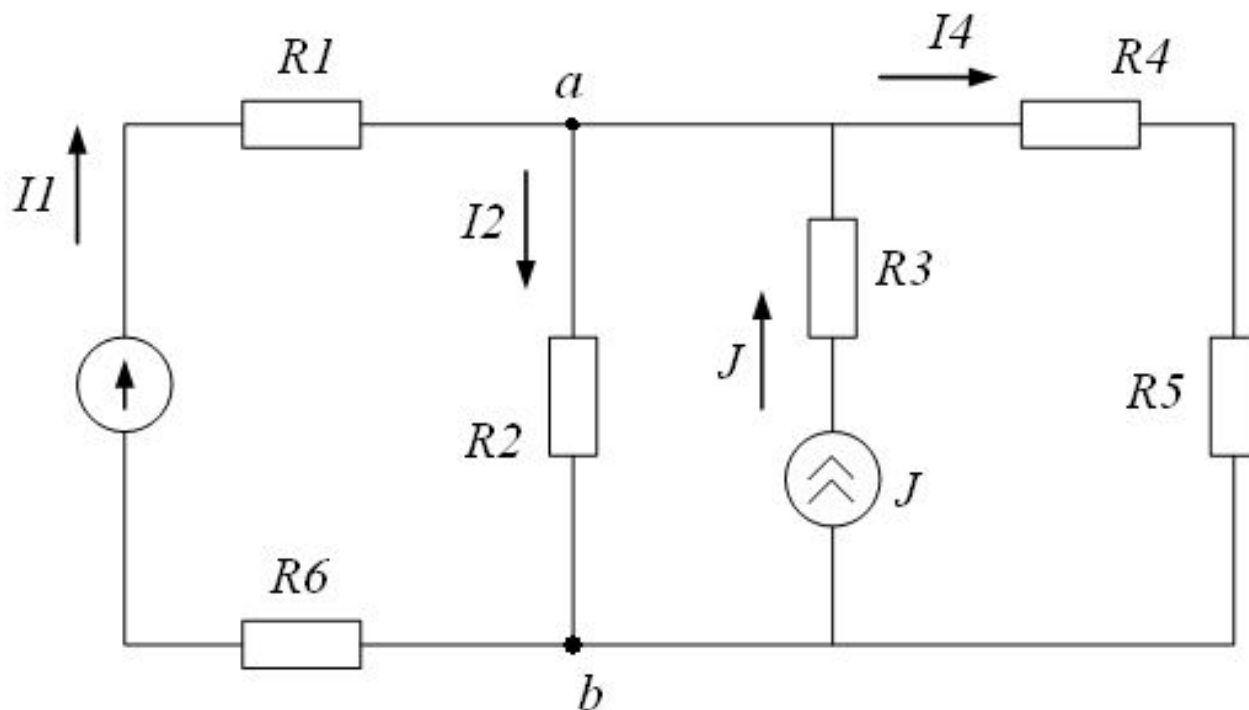
- Метод эквивалентного АД удобен, когда нужно найти ток в одной ветви сложной схемы.
- Представление части цепи в эквивалентном виде очень удобно при анализе сложных устройств, т.к. позволяет существенно упростить расчеты.

4. Метод суперпозиции.

Применительно к электрическим цепям принцип суперпозиции состоит в том, что одновременное воздействие нескольких источников на какой-либо элемент линейной цепи можно рассматривать как сумму воздействий на этот элемент каждого источника в отдельности.

Пример

В заданной схеме определить ток I_2



$$E = 10 \text{ В}, \quad J = 2 \text{ А},$$

$$R_1 = R_4 = R_5 = R_6 = 5 \text{ Ом}, \quad R_2 = 10 \text{ Ом}, \quad R_3 = 3 \text{ Ом}$$

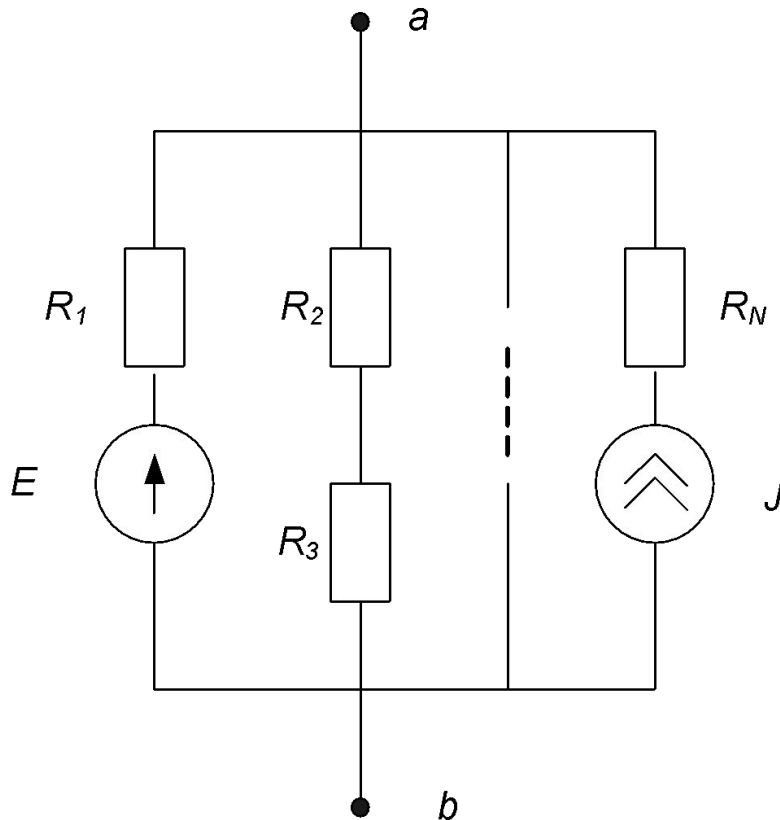
Алгоритм метода суперпозиции:

1. Вместо схемы с N источниками рассчитываем N схем с одним источником (находим ток в искомой ветви). При этом источники, не рассматриваемые в текущей схеме, заменяются на свои внутренние сопротивления.
2. Ток в ветви ищется как сумма токов от действия каждого источника в отдельности (с учетом знака).

Выводы:

- Метод суперпозиции очень трудоемок при уже сравнительно не большом количестве источников (поэтому применяется редко).
- Применим только к линейным цепям
- Позволяет оценить воздействие на элемент цепи каждого источника в отдельности.

5. Метод межузлового напряжения



$$U_{ab} = \frac{\sum_{i=1}^m (G_i \cdot E_i) + \sum_{k=1}^n J_k}{\sum_{j=1}^N G_j}$$

m – число ветвей с источниками ЭДС,

n – число ветвей с источниками тока

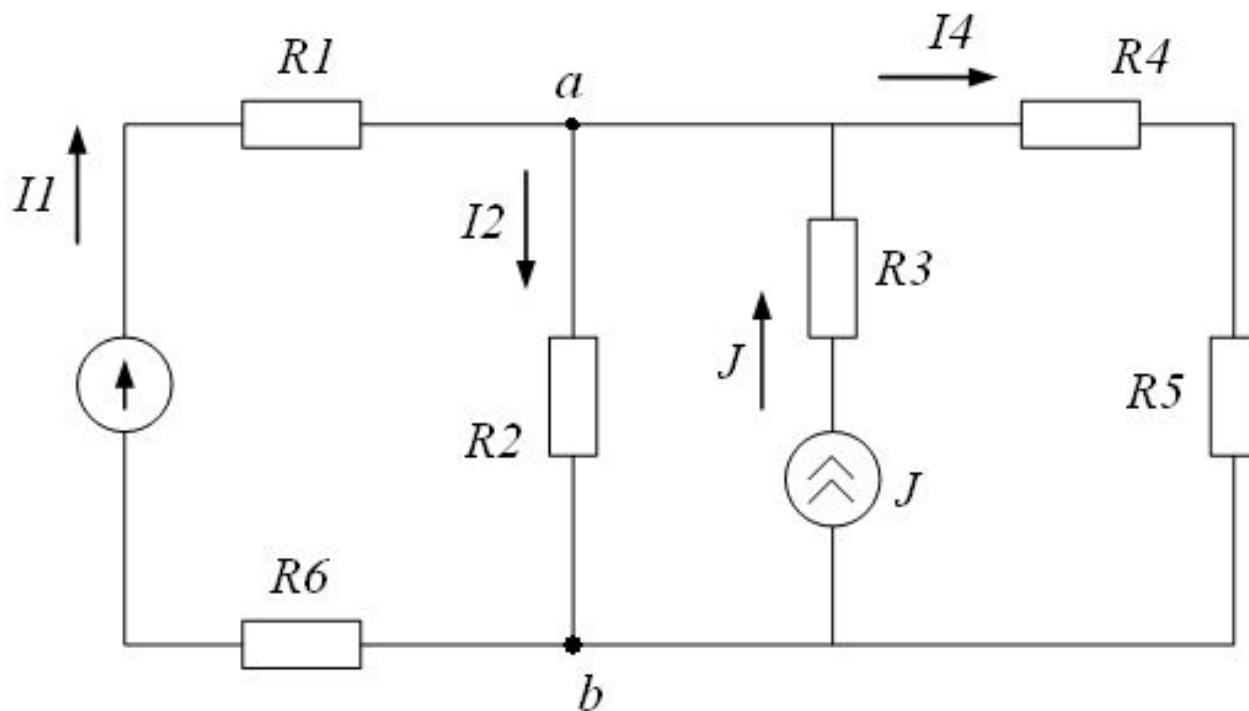
N – общее число ветвей

Алгоритм применения:

1. Выбираем условно положительное направление для напряжения и тока.
2. Находим напряжение на участке ab .
3. Зная U_{ab} , находим токи в ветвях, используя закон Ома (пассивная ветвь) или Кирхгофа (для активной ветви).

Пример

В заданной схеме определить ток I_2



$$E = 10 \text{ В}, \quad J = 2 \text{ А},$$

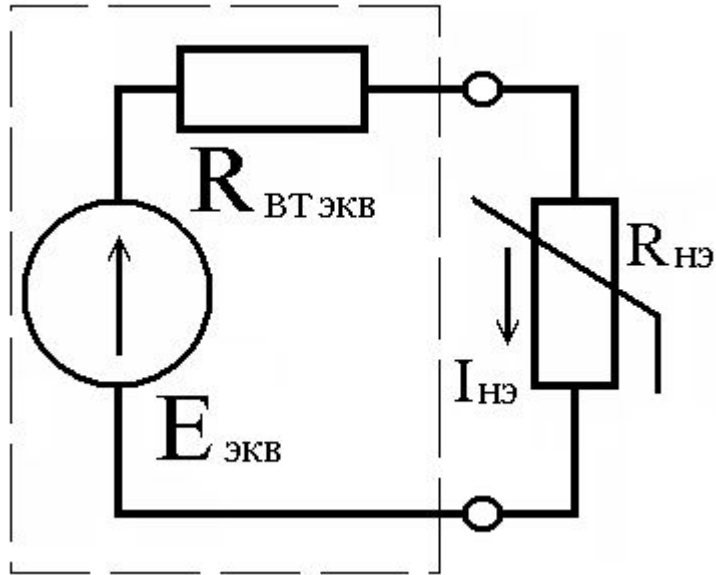
$$R_1 = R_4 = R_5 = R_6 = 5 \text{ Ом}, \quad R_2 = 10 \text{ Ом}, \quad R_3 = 3 \text{ Ом}$$

Выводы:

- Метод тем эффективней, чем больше число параллельных ветвей.
- Применим только к линейным цепям.

1.9. Нелинейные цепи ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цепи нелинейного тока рассчитываются тоже по законам Кирхгофа и Ома, т.к. других законов нет!



$$U_{i\dot{y}} = E_{\dot{y}\hat{e}\hat{a}} - I \cdot R_{\hat{a}\hat{o}\dot{y}\hat{e}\hat{a}}$$

$$U_{i\dot{y}} = I \cdot R_{i\dot{y}}$$

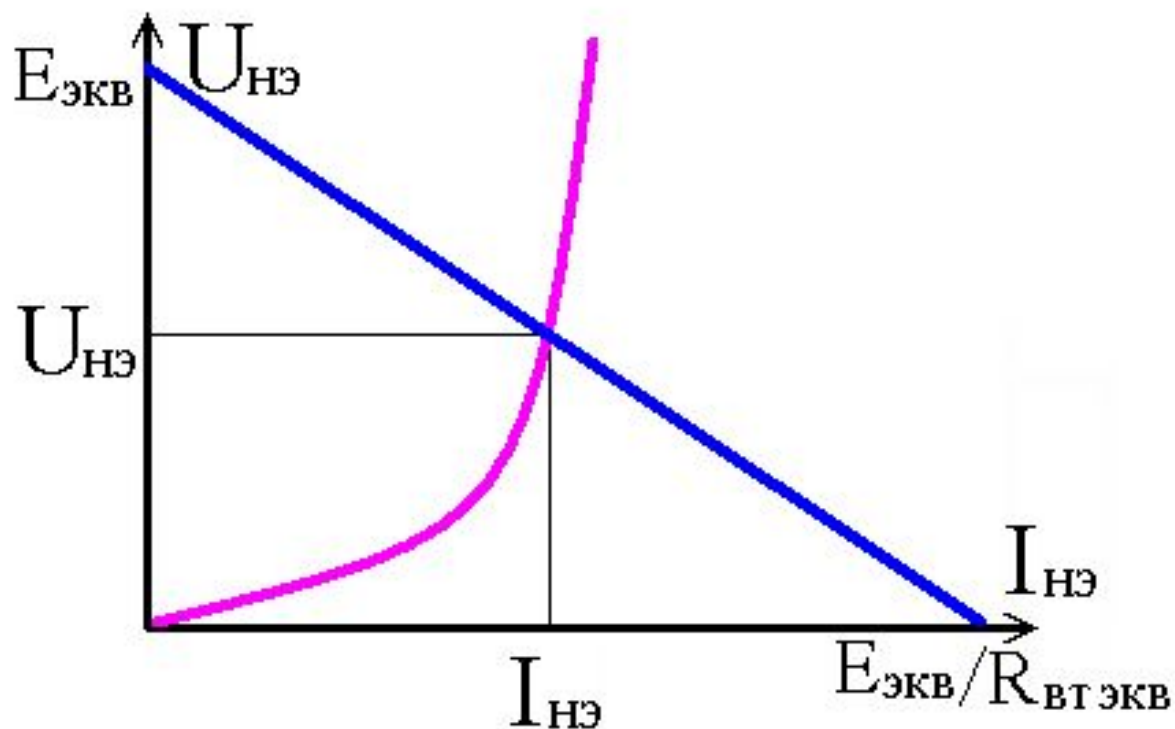
1.9. Нелинейные цепи постоянного тока

Уравнение ВАХ экв. АД:

$$U_{i\dot{y}} = E_{\dot{y}\hat{e}\hat{a}} - I \cdot R_{\hat{a}\hat{o}\dot{y}\hat{e}\hat{a}}$$

Уравнение ВАХ нэ:

$$U_{i\dot{y}} = I \cdot R_{i\dot{y}}$$



1.9. Нелинейные цепи постоянного тока

Алгоритм расчета цепей с нелинейным элементом:

1. Все, кроме нелинейного элемента представляем в виде эквивалентного АД.
2. Ищем параметры эквивалентного АД ($E_{\text{экв}}$ и $R_{\text{вт.экв}}$).
3. Определяем ток и напряжение на нелинейном элементе методом пересечения характеристик.
4. Используя найденные значения тока и напряжения (или сопротивления) нелинейного элемента, определяем прочие требуемые токи и напряжения любым известным методом.