

Лекция №1

- *План лекции*
- ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И
ОПРЕДЕЛЕНИЯ
- РЕЗИСТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
- ИНДУКТИВНЫЙ И ЕМКОСТНЫЙ
ЭЛЕМЕНТЫ
- ИСТОЧНИКИ ПОСТОЯННОГО

Основные понятия и определения

- Электротехника – наука о практическом применении электрических и магнитных явлений.
- На предприятиях по переработке технологические потоки входят традиционные для многих отраслей производства механические и гидромеханические процессы (перекачка, дозирование, смешивание, разделение неоднородных и однородных жидкостей и т.п.), тепловые процессы, а также целый ряд специфических операций
- Механизация и автоматизация технологических процессов во многом зависит от уровня электрификации этих процессов

Основные понятия и определения

- Для работы любого электротехнического устройства необходимо, чтобы через него проходил электрический ток, обязательным условием существования которого является наличие замкнутого контура – электрической цепи.
- Основными элементами электрической цепи являются источники и приемники электрической энергии. Кроме этих элементов, электрическая цепь содержит измерительные приборы, коммутационную аппаратуру, соединительные линии, провода.
- В источниках электрической энергии различные виды энергии преобразуются в электрическую.
- Так, в генераторах электростанций в электрическую энергию преобразуется энергия механическая, в гальванических элементах и аккумуляторах – химическая, в солнечных батареях – световая и т.д.
- В приемниках электрическая энергия источников преобразуется в тепловую (нагревательные элементы),₃ световую (электрические лампы), и т.д.

Резистивные элементы

- Приемники электрической энергии по характеру физических процессов, протекающих в них, делятся на три основных вида:

резистивные; индуктивные; емкостные.

- Основной характеристикой резистивного элемента является его вольтамперная характеристика (ВАХ).) $U=f(I)$ (1.1)

где U – напряжение, В;

I – сила тока, А.

известный как закон Ома: $U=R*I$ (1.2)

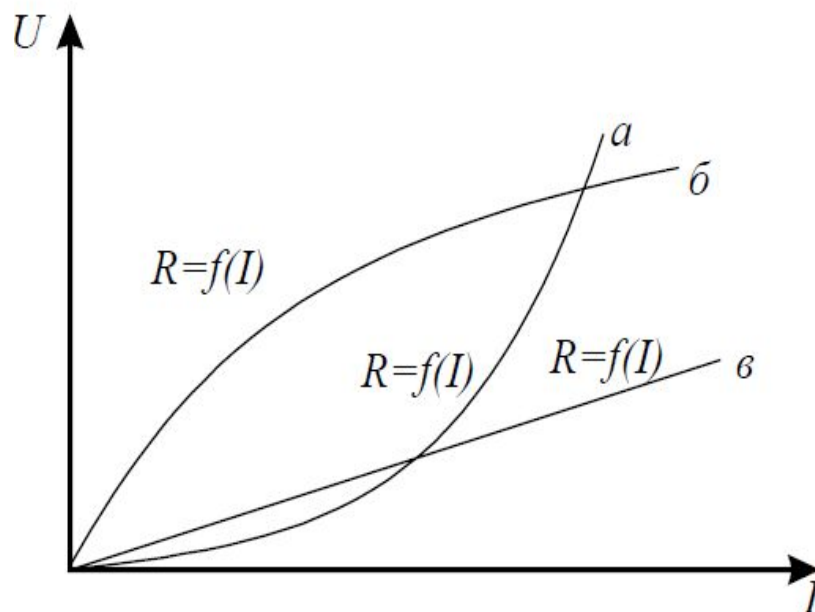
Резистивные элементы

$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$ где R_0, R – сопротивления проводников при температуре T_0, T , Ом

T_0 – начальная температура проводника, К;

T – конечная температура проводника, К;

α – температурный коэффициент сопротивления.



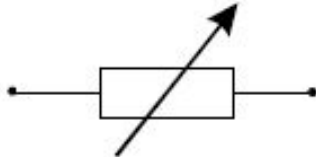
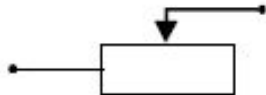
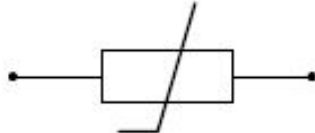
– Общий вид ВАХ металлического (а), полупроводникового (б), и константанового (в) резистивных элементов.

Резистивные элементы

Наименование материала	Удельное сопротивление при 20 °С, мкОм м	Температурный коэффициент сопротивления, 1/°К
Медь	0,0172-0,0182	0,0041
Алюминий	0,0295	0,0040
Сталь	0,125-0,146	0,0057
Вольфрам	0,0508	0,0048
Уголь	10-60	-0,005
Манганин (Cu-80 %, Mn-12 %, Ni-3 %)	0,4-0,52	$3 \cdot 10^{-5}$
Константан	0,44	$5 \cdot 10^{-5}$
Нихром (Cr-20 %, Ni-80 %)	1,02-1,12	0,0001
Полупроводники (Si, Ge)	1,0-14	-(0,2-0,8)

Резистивные элементы

Условные обозначения резисторов

Наименование	Обозначение
Резистор постоянный (линейная ВАХ)	
Резистор переменный:	
общее обозначение	
с разрывом цепи	
без разрыва цепи	
Резистор нелинейный (нелинейная ВАХ)	

Индуктивный и емкостный элементы

- Эти элементы имеют принципиальное отличие от резистивных элементов в том, что в них не происходит необратимого преобразования электрической энергии в другие виды энергии.
- Когда сопоставляют элементы по своему характеру, то резистивные элементы называют активными, а индуктивный и емкостный элементы

Индуктивный и емкостный элементы

$$u_L = L \frac{di_L}{dt},$$

$$i_C = C \frac{du_C}{dt},$$

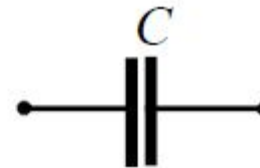
где L – индуктивность элемента, Гн. где C – емкость элемента, Ф.

Условное обозначение в схемах электрических цепей:

идеального индуктивного элемента:



идеального емкостного элемента:

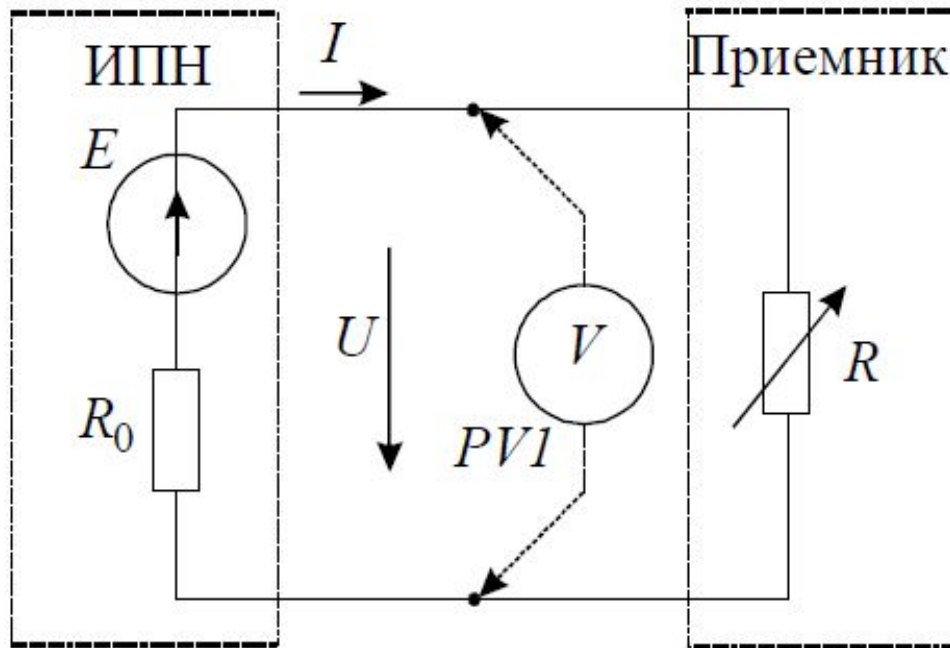


Источник постоянного

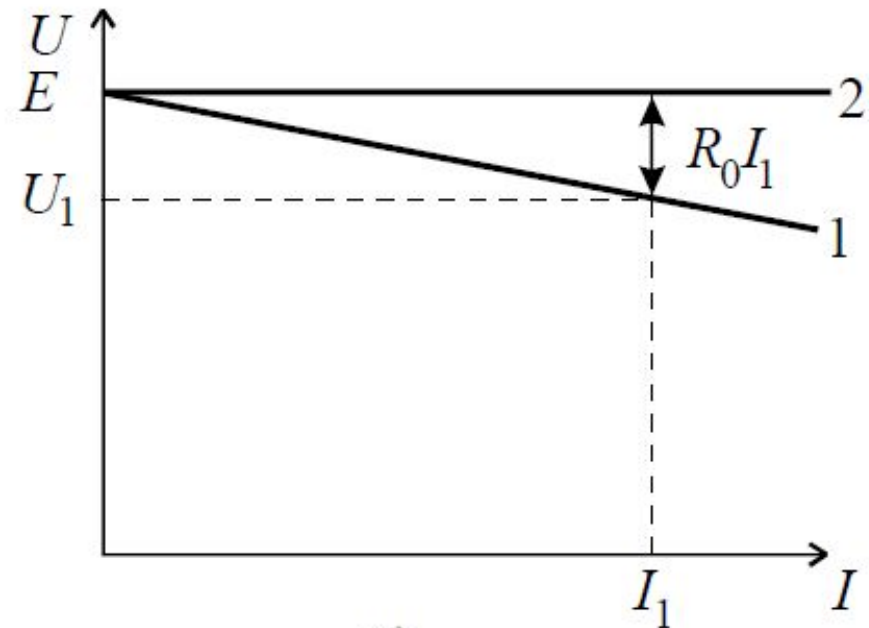
напряжения

Источником постоянного напряжения (ИПН) характеризуется следующими основными параметрами: - электродвижущей силой (ЭДС) E ; - внутренним сопротивлением R_0 ; - напряжением U на зажимах (полюсах) источника.

$$E = U_V + R_0 I = IR_V + R_0 I \approx U_V. \quad (1.9)$$



а)



б)

Рисунок 1.2 – Схема простейшей электрической цепи (а) и ВАХ ИПН (б)

Электрические цепи постоянного тока

- Электротехнические устройства, установки и системы постоянного тока имеют большое практическое применение на транспорте (двигатели подъемных механизмов, трамваев, троллейбусов, электровозов, электрокар), при электрохимическом получении металлов (электролизные ванны), в космической технике, в радиоэлектронике, компьютерной

Электрические цепи постоянного тока

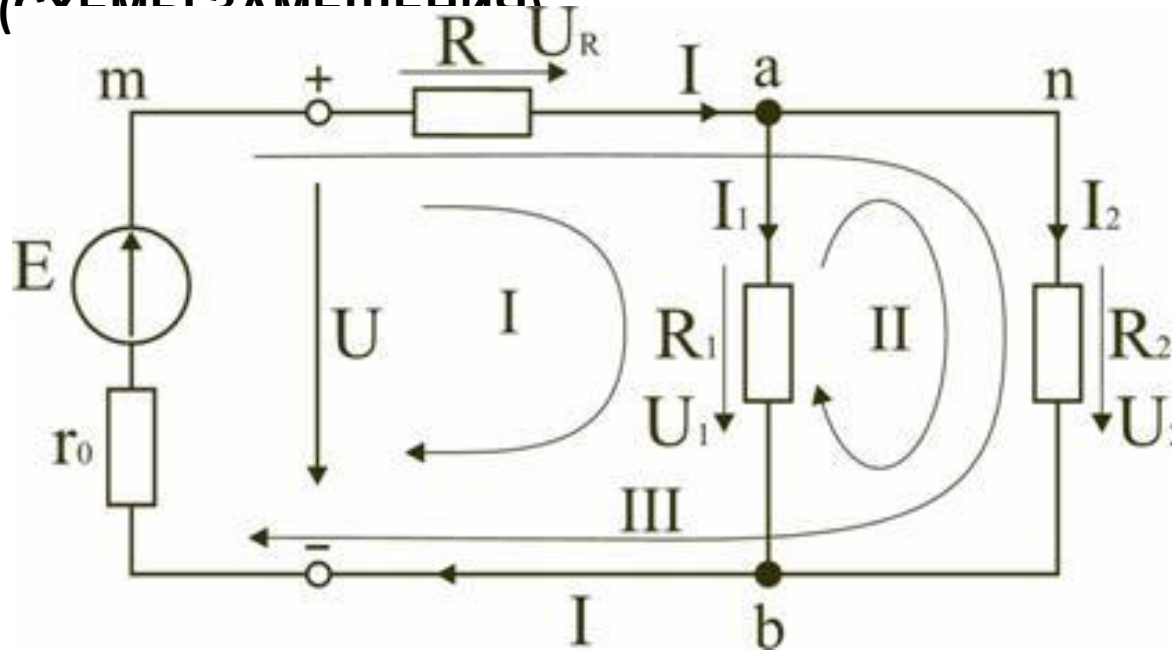
- Первые шаги электротехники были связаны с освоением энергии постоянного тока, которая вырабатывалась гальваническими элементами.
- В настоящее время основными источниками постоянного тока (ИПТ) являются выпрямительные преобразователи (выпрямители), химические аккумуляторы, электромашинные генераторы постоянного тока.
- Развиваются и совершенствуются новые виды ИПТ:
 - – источники, преобразующие лучистую энергию Солнца при помощи фотоэлементов, являющихся основными источниками электрической энергии космических аппаратов;
 - – магнитогидродинамические генераторы (МГД-генераторы);
 - – имеются сообщения о создании в США электрохимических ИПТ для электромобилей, в которых электрическая энергия будет получаться в результате реакции кислорода атмосферного воздуха с бензиновым

Электрические цепи постоянного тока

- *Электрической цепью* называют совокупность элементов и устройств, предназначенных для прохождения тока по определенному, заранее заданному алгоритму и описываемых с помощью понятий тока и напряжения.
- Понятия электрического тока и напряжения являются одними из основных в теории электрических цепей. Напряжения и токи представляют собой скалярные величины, которые могут принимать лишь вещественные значения - положительные или отрицательные. Значение напряжения (тока) в данный момент времени называют мгновенным значением напряжения (тока). Мгновенные значения напряжений и токов принято обозначать соответственно буквами $u(t)$, $i(t)$. Чтобы подчеркнуть их зависимость от переменной t
- В цепях постоянного тока напряжения и токи постоянны во времени и обозначаются U , I

Электрические цепи постоянного тока

- ДЛЯ РАСЧЕТА И АНАЛИЗА РЕАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ ГРАФИЧЕСКИ В ВИДЕ РАСЧЕТНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ (СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ)

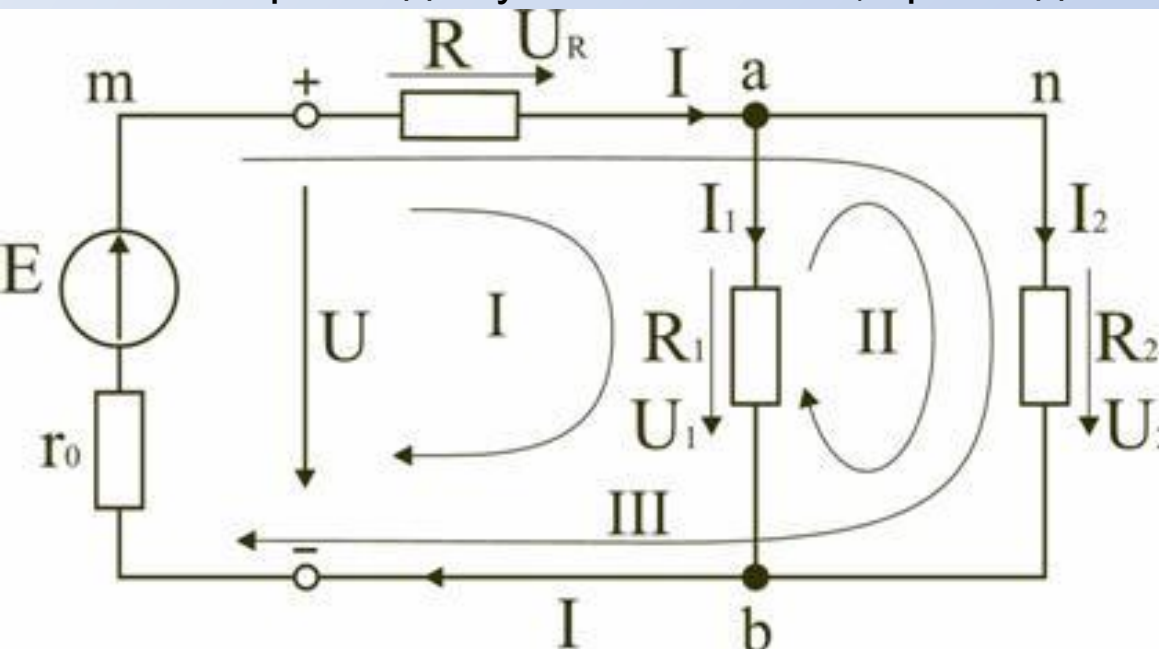


ВЕТВЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ (СХЕМЫ) – участок цепи с одним и тем же током. Ветвь может состоять из одного или нескольких последовательно соединенных элементов. Схема на рис. имеет три ветви: ветвь bma , в которую включены элементы r_0, E, R и в которой возникает ток I ; ветвь ab с элементом R_1 и током I_1 ; ветвь anb с элементом R_2 и током I_2 .

Электрические цепи постоянного тока

УЗЕЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ (СХЕМЫ) – МЕСТО СОЕДИНЕНИЯ ТРЕХ И БОЛЕЕ ВЕТВЕЙ.

В схеме на рис. – два узла а и b. Ветви, присоединенные к одной паре узлов,



находящаяся в параллельных ветвях. **КОНТУР** – любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям. В схеме можно выделить три контура: I – bmaab; II – anba; III – manbm, на схеме стрелкой показывают направление обхода контура.

УСЛОВНЫЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭДС ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ, ТОКОВ ВО ВСЕХ ВЕТВЯХ, НАПРЯЖЕНИЙ МЕЖДУ УЗЛАМИ И НА ЗАЖИМАХ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПИ НЕОБХОДИМО ЗАДАТЬ ДЛЯ ПРАВИЛЬНОЙ ЗАПИСИ УРАВНЕНИЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ИЛИ ЕЕ ЭЛЕМЕНТАХ. НА СХЕМЕ СТРЕЛКАМИ УКАЖЕМ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭДС

Лекция №2

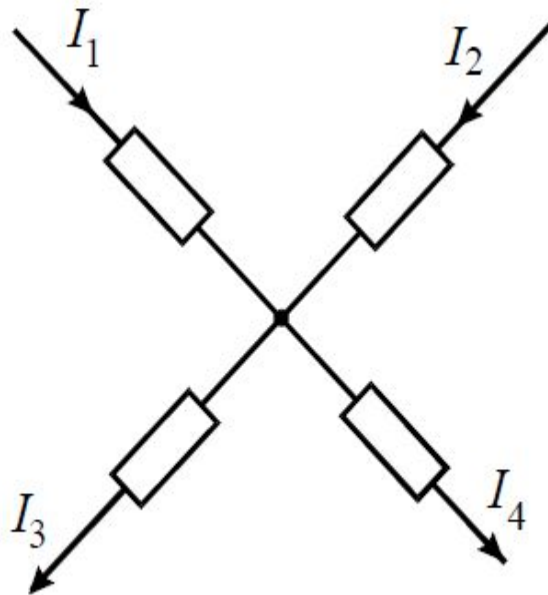
План лекции

- ПЕРВЫЙ ЗАКОН КИРХГОФА
- ВТОРОЙ ЗАКОН КИРХГОФА
- РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВДОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ
- ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
- ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ПЕРВЫЙ ЗАКОН КИРХГОФА

$$\sum I = 0. \quad (2.1)$$

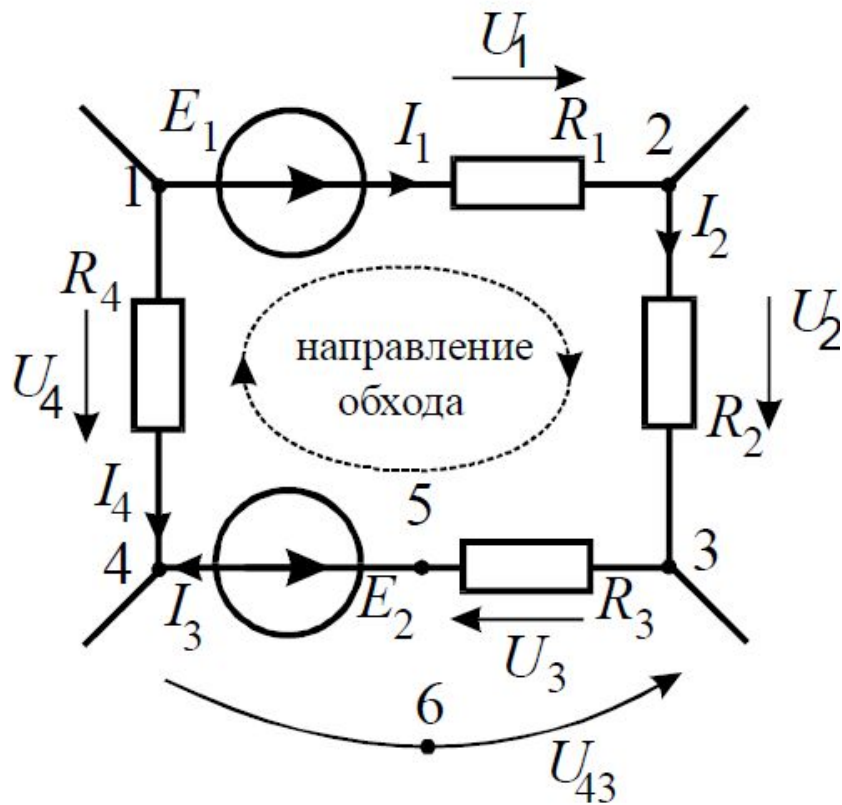
Всем токам, направленным *от* узла, в уравнении (2.1) приписывается одинаковый знак, например, *положительный*, тогда все токи, направленные *к* узлу, войдут в уравнение с *отрицательным* знаком.



$$-I_1 - I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

ВТОРОЙ ЗАКОН КИРХГОФА

Алгебраическая сумма ЭДС в любом контуре цепи равна алгебраической сумме напряжений на элементах этого контура:



$$E_1 - E_2 = U_1 + U_2 + U_3 - U_4$$

Потенциальная диаграмма последовательной

электрической цепи

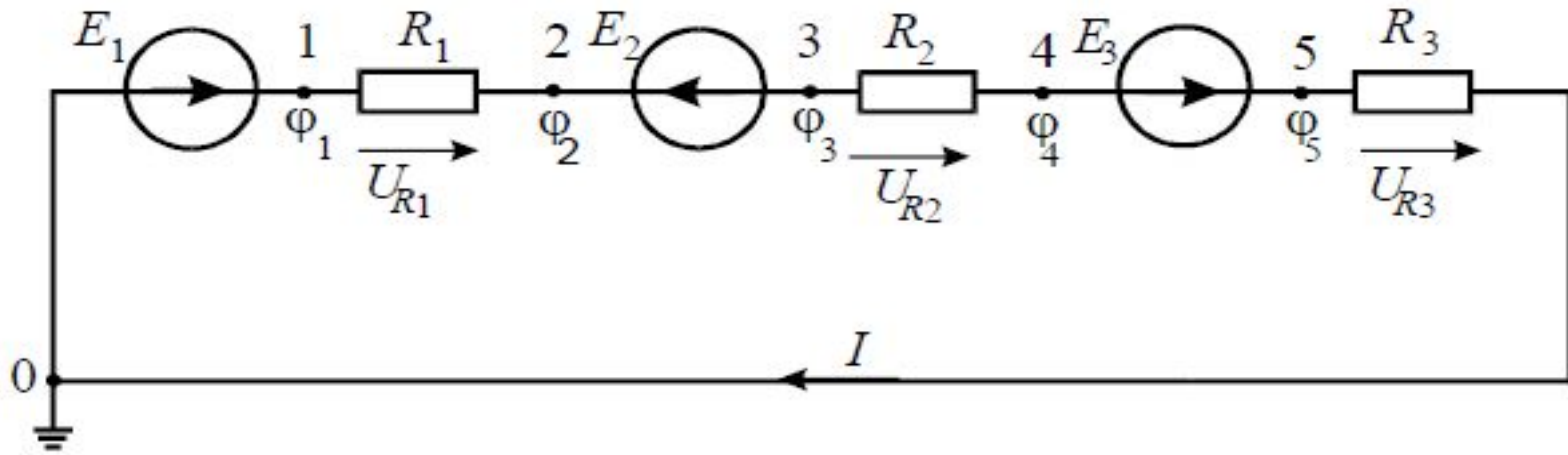
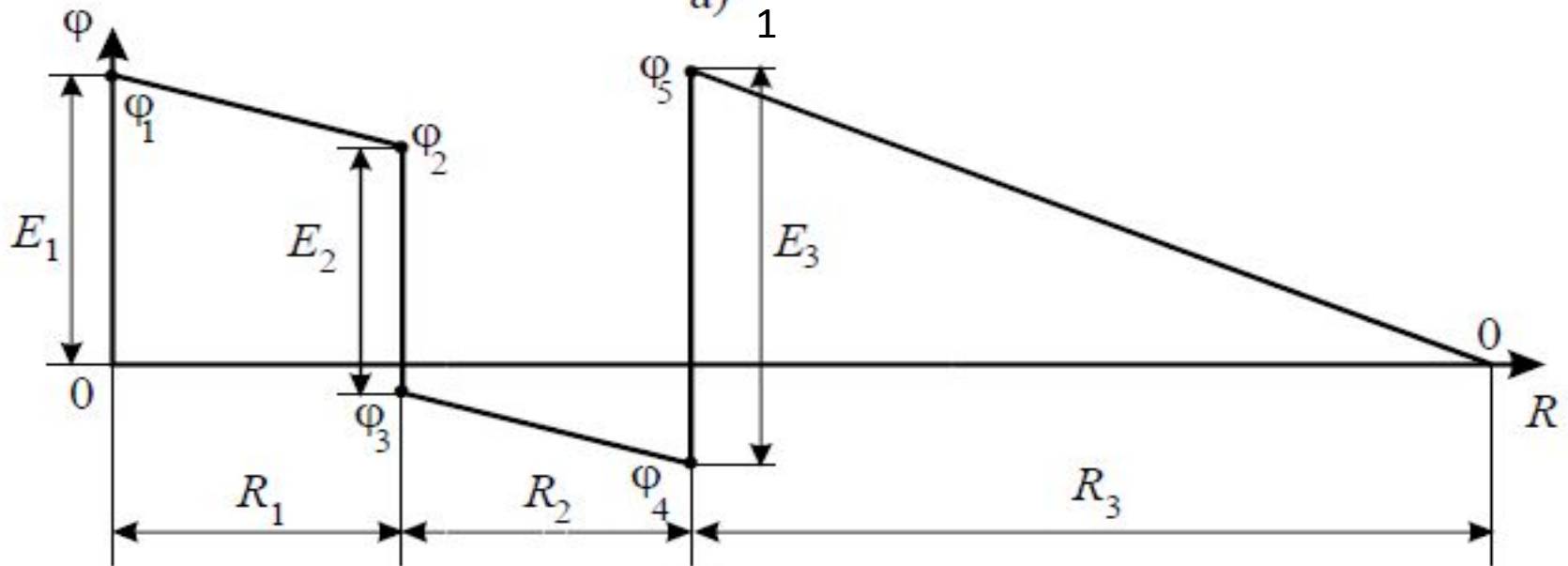
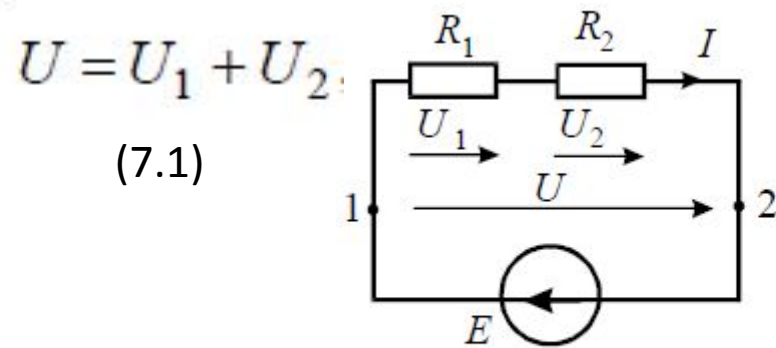


Рис.6.

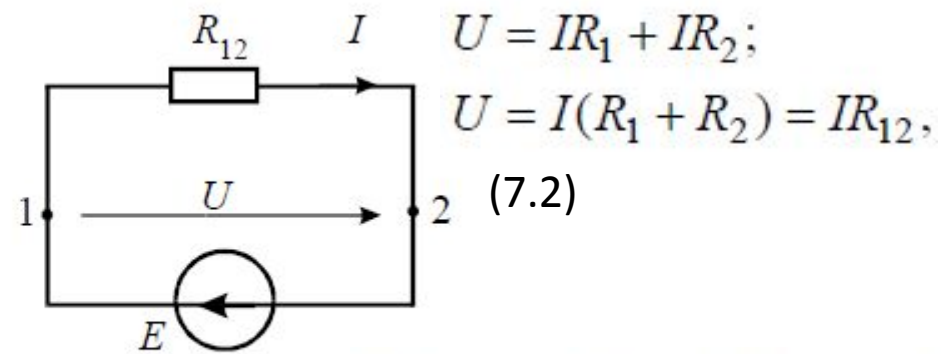


б) Рис.6.

Последовательное и параллельное соединения резистивных элементов



а) Рис.



б)

$$R_{1,2,\dots,n} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

(7.3)

Рис.
7.2

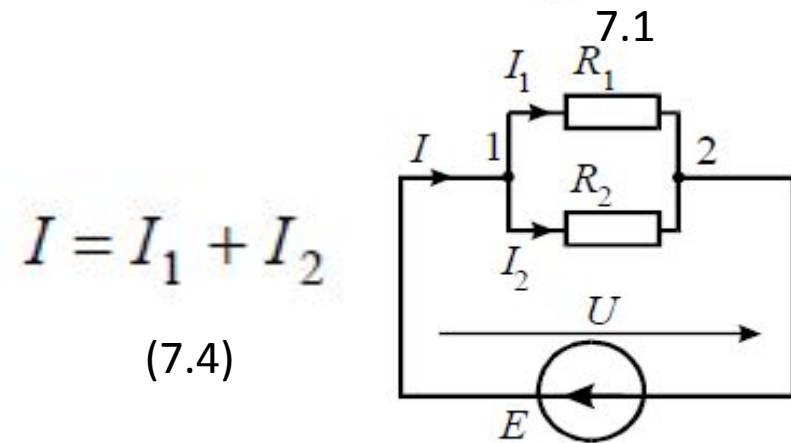


Рис.

а) 7.3

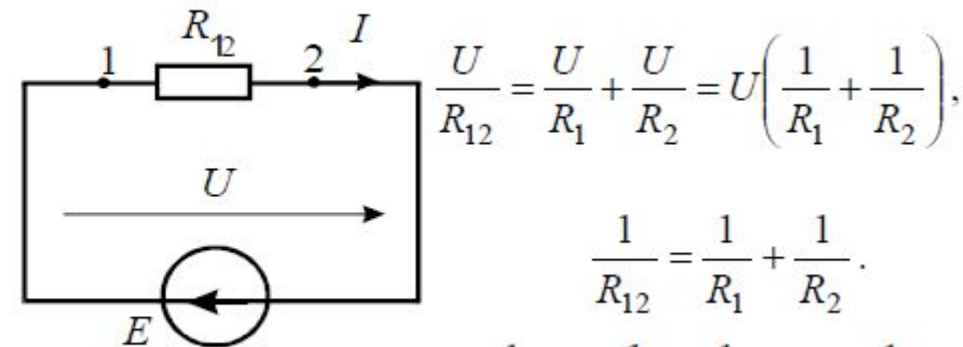


Рис.

б)

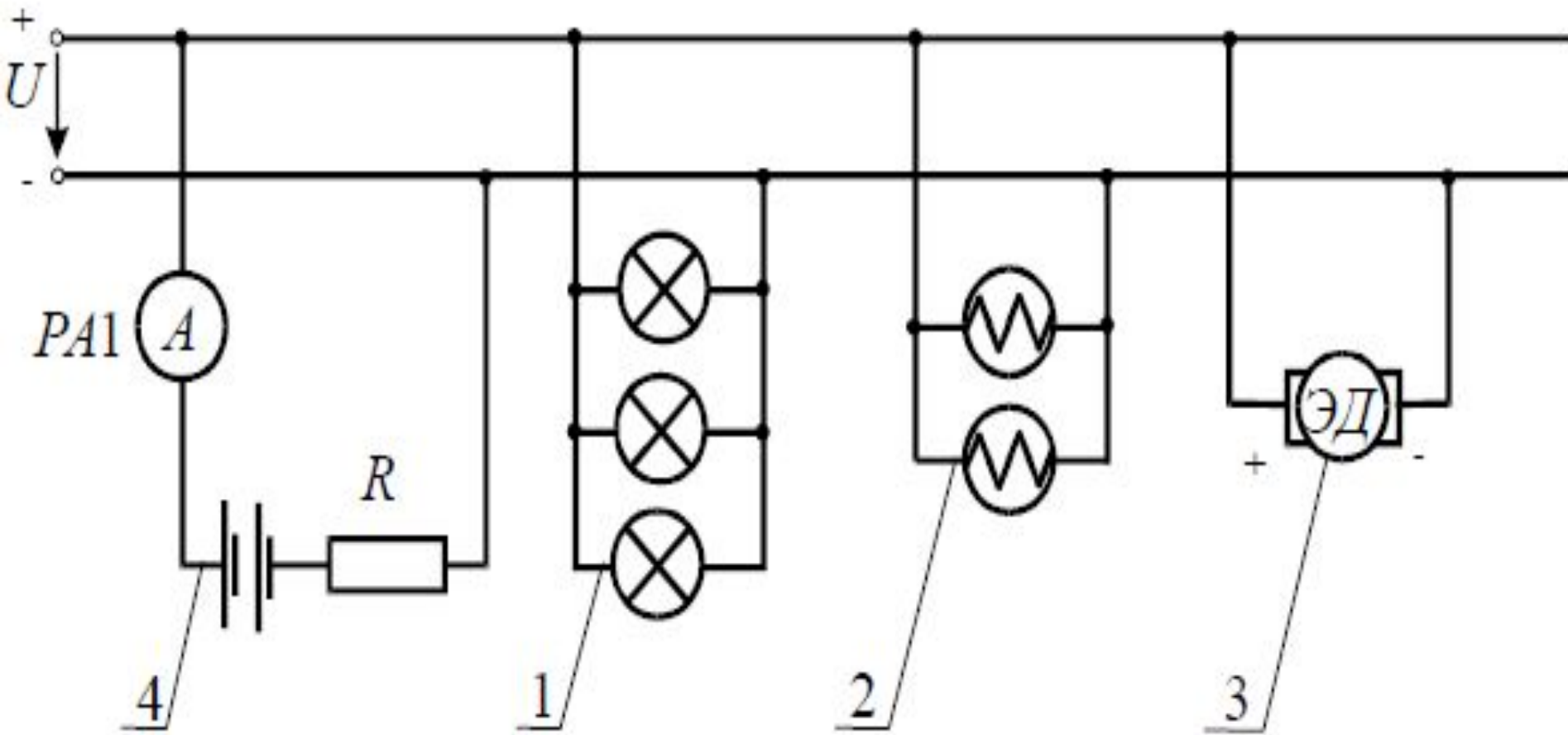
$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{1,2,\dots,n}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

(7.5)

(7.6) $G_{1,2,\dots,n} = G_1 + G_2 + \dots + G_n$

Схема ЭЦ с параллельно включенными приемниками электрической энергии



- 1 – лампы накаливания,
2 – нагревательные приборы,
3 – электродвигатель,
4 – аккумулятор

Рис.
8.1

Лекция №3

План лекции

- **СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ ТРЕУГОЛЬНИКОМ И ЗВЕЗДОЙ**
- **ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ И МОЩНОСТЬ, УРАВНЕНИЕ БАЛАНСА МОЩНОСТИ**
- **РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**
- **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Соединение резисторов треугольником и звездой

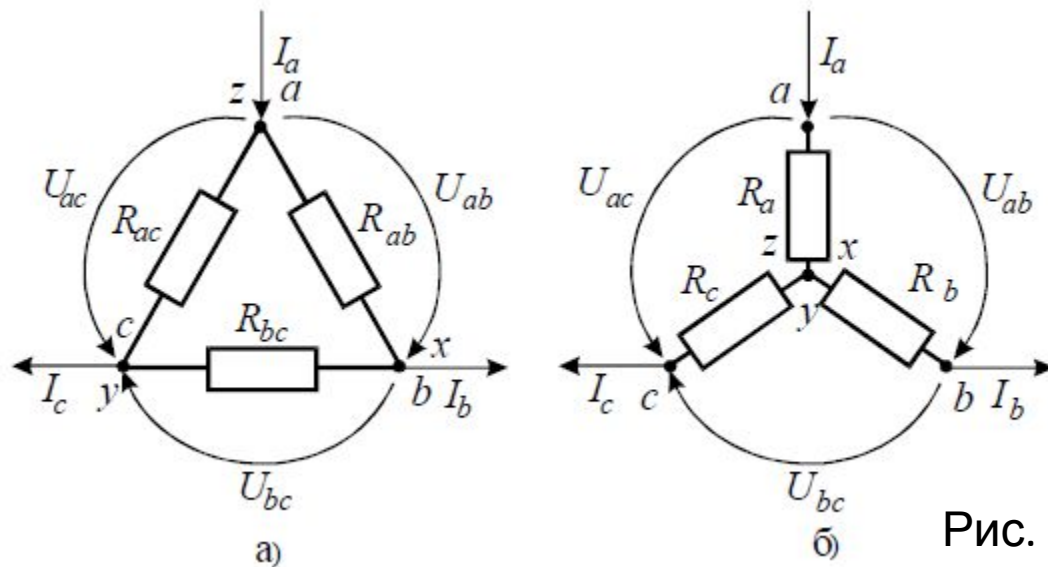


Рис.
9.1

Для упрощения анализа и расчета некоторых электрических цепей, содержащих соединения резисторов треугольником, целесообразно заменить эти резисторы эквивалентными резисторами R_a, R_b, R_c соединенными звездой

$$R_a = \frac{R_{ab} \cdot R_{ac}}{\sum R}; \quad R_b = \frac{R_{ab} \cdot R_{bc}}{\sum R}; \quad R_c = \frac{R_{ac} \cdot R_{bc}}{\sum R} \quad (9.1.)$$

$$\sum R = R_{ab} + R_{bc} + R_{ac} \quad (9.2.)$$

$$\begin{aligned} R_{ab} &= R_a + R_b + \frac{R_a \cdot R_b}{R_c}; \\ R_{bc} &= R_b + R_c + \frac{R_b \cdot R_c}{R_a}; \\ R_{ac} &= R_a + R_c + \frac{R_a \cdot R_c}{R_b}. \end{aligned} \quad (9.3.)$$

Электрическая энергия и

МОЩНОСТЬ

Основными единицами электрической энергии (ЭЭ) и мощности являются 1 джоуль (1 Дж=1 ВАс) и 1 ватт (1 Вт=1 Дж/с=1 ВА). Для мощности и энергии промышленных установок часто используются более крупные единицы: 1 киловатт (1 кВт=10³ Вт), 1 мегаватт (1 МВт=10⁶ Вт), 1 киловатт-час (1

$$W = I^2 R t \quad (10.1)$$

$$W = \left(\frac{U^2}{R} \right) \cdot t$$

$$W = UI t.$$

$$P_u = E \cdot I \quad (10.2)$$

$$P_u = -E \cdot I$$

$$P_{np} = I^2 R = \frac{I^2}{G};$$

$$(10.3) \quad P_{np} = \frac{U^2}{R} = U^2 G;$$

$$P_{np} = UI.$$

$$(10.4) \quad P_u = P_n,$$

$$\sum E_i I_i = \sum I_i^2 R_i,$$

Режимы работы элементов электрической цепи

- Номинальный режим работы какого-либо элемента электрической цепи (источника, приемника) считается такой режим, в котором данный элемент работает при номинальных величинах.
- Согласованным называется режим, при котором мощность, отдаваемая источником или потребляемая приемником, имеет максимальное значение. Максимальные значения мощностей получаются при определенном соотношении (согласовании) параметров ЭЦ.
- Под режимом холостого хода (ХХ) понимается такой режим, при котором через источник или приемник не протекает ток. При этом источник не отдает энергию во внешнюю цепь, а приемник не потребляет ее.
- Режимом короткого замыкания (КЗ) называется режим, возникающий при соединении между собой без какого-либо сопротивления (накоротко) зажимов источника или иных

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

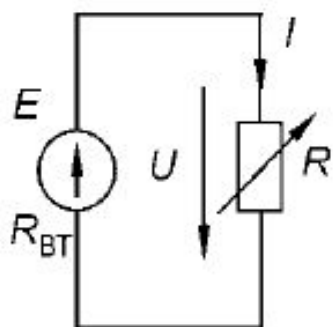


Рис.12.

1

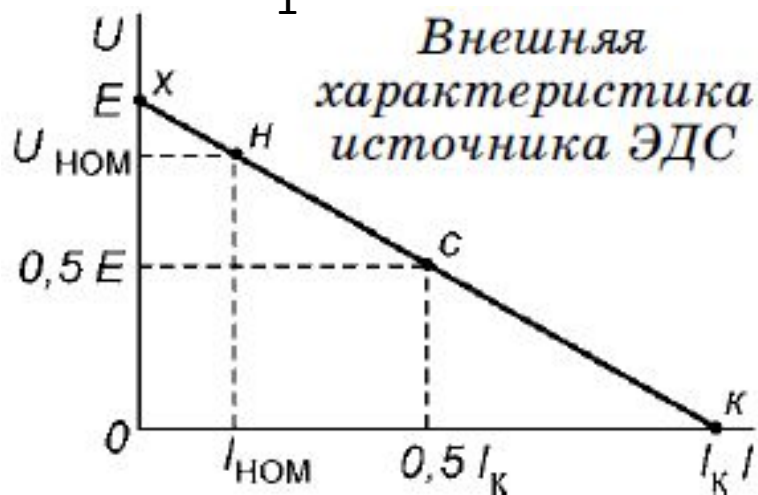


Рис.12.

2

$$E = RI + R_{\text{вТ}}I \quad (12.1)$$

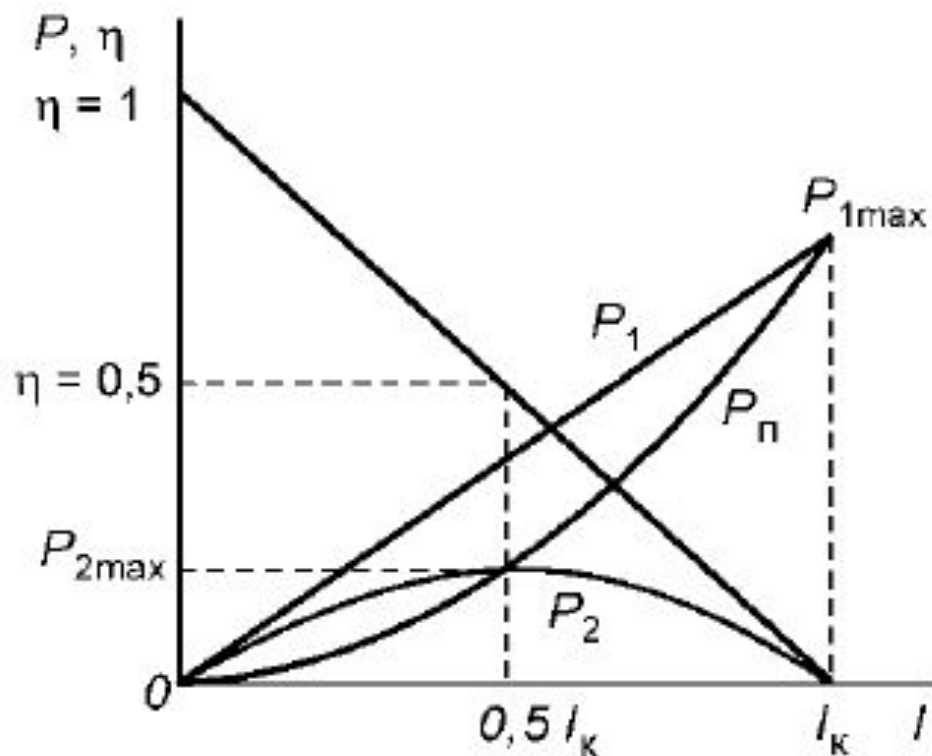
$$P_1 = P_2 + P_{\text{п}} \quad (12.2)$$

$$U = E - R_{\text{вТ}}I \quad (12.3)$$

$$I = \frac{E}{R + R_{\text{вТ}}} \quad (12.4)$$

$$P_2 = UI = RI^2 = \frac{E^2 R}{(R + R_{\text{вТ}})^2} \quad (12.5)$$

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ В ЦЕПЯХ ТОКА



*Энергетические зависимости
в цепях постоянного тока*

$$P_2 = P_1 - P_{\Pi} = EI - R_{\text{BT}} I^2$$

$$\frac{dP_2}{dI} = E - 2R_{\text{BT}} I = 0$$

$$R = R_{\text{BT}}$$

$$I = \frac{E}{2R_{\text{BT}}} = I_c = 0,5 I_k$$

$$P_{2\max} = P_{2c} = \frac{E^2 R_{\text{BT}}}{(2R_{\text{BT}})^2} = \frac{E^2}{4R_{\text{BT}}}$$

$$P_{1c} = EI_c = \frac{E^2}{2R_{\text{BT}}}$$

$$\eta_c = P_{2c}/P_{1c} = 0,5$$

Лекция №4

- **МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**
- **МЕТОД УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ**
- **МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ**
- **МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА**

Метод эквивалентных

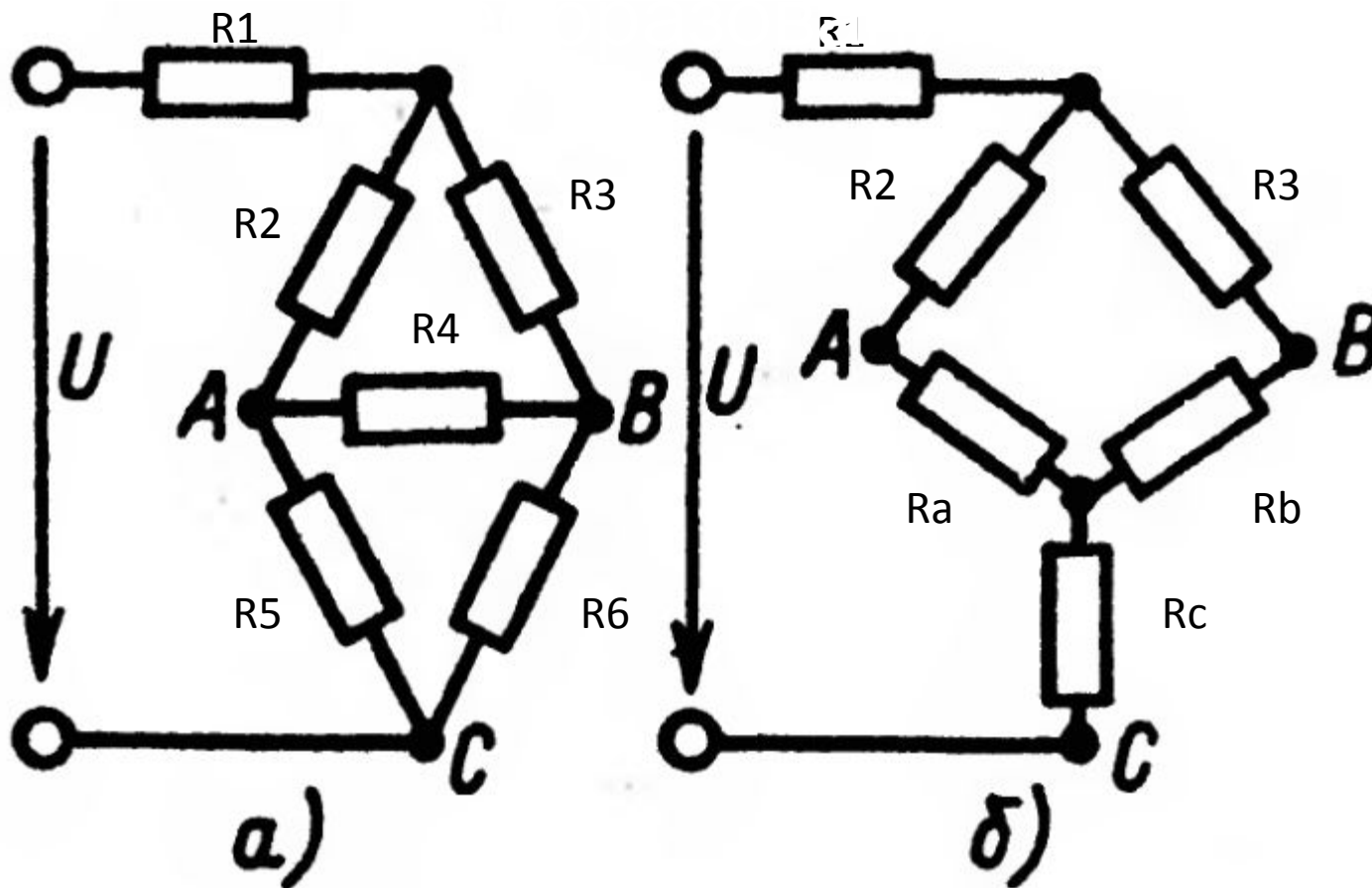


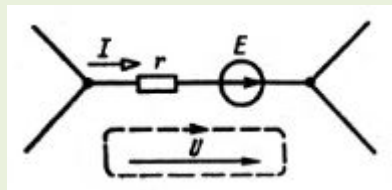
рис. 15а) Исходная электрическая цепь

рис.15 б) Эквивалентная цепь после преобразования треугольника R_4 , R_5 , R_6 в звезду R_a , R_b , R_c

Метод узловых потенциалов

Метод узловых потенциалов позволяет уменьшить число совместно решаемых уравнений до $Y - 1$, где Y - число узлов схемы замещения цепи. Метод основан на применении первого закона Кирхгофа и заключается в следующем:

- 1) один узел схемы цепи принимаем базисным с нулевым потенциалом. Такое допущение не изменяет значения токов в ветвях, так как ток в каждой ветви зависит только от разностей потенциалов узлов, а не от действительных значений потенциалов;**
- 2) для остальных $Y - 1$ узлов составляем уравнения по первому закону Кирхгофа, выражая токи ветвей через потенциалы узлов;**
- 3) решением составленной системы уравнений определяем потенциалы $Y - 1$ узлов относительно базисного, а затем токи ветвей по обобщенному закону Ома**



$$I = (U + E) / r \quad (16.1)$$

Рис.
16.1

Метод узловых потенциалов (пример применения)

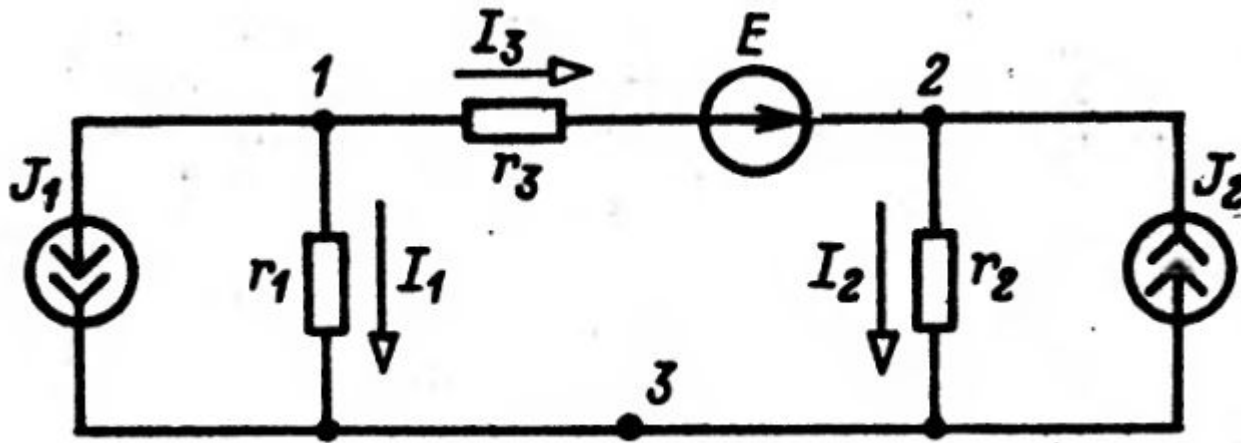


Рис.

17.1

Система уравнений по первому и второму

Закону Кирхгофа

$$I_3 + J_2 - I_2 = 0$$

$$-I_1 \cdot r_1 + I_3 \cdot r_3 + I_2 \cdot r_2 = E$$

(17.1)

Система уравнений по методу
узловых потенциалов

$$\begin{cases} \phi_1 \cdot \left(\frac{1}{r_1 + r_3} \right) - \phi_2 \cdot \left(\frac{1}{r_3} \right) = -J_1 - E \cdot \left(\frac{1}{r_3} \right) \\ -\phi_1 \cdot \left(\frac{1}{r_3} \right) + \phi_2 \cdot \left(\frac{1}{r_2 + r_3} \right) = J_2 + E \cdot \left(\frac{1}{r_3} \right) \end{cases}$$

$$\phi_3 = 0$$

(17.2)

Рис.

17.2

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} & -\frac{1}{r_3} \\ -\frac{1}{r_3} & \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -J_1 & -\frac{E}{r_3} \\ J_2 & \frac{E}{r_3} \end{bmatrix}$$

Метод узловых потенциалов

(метод двух узлов)

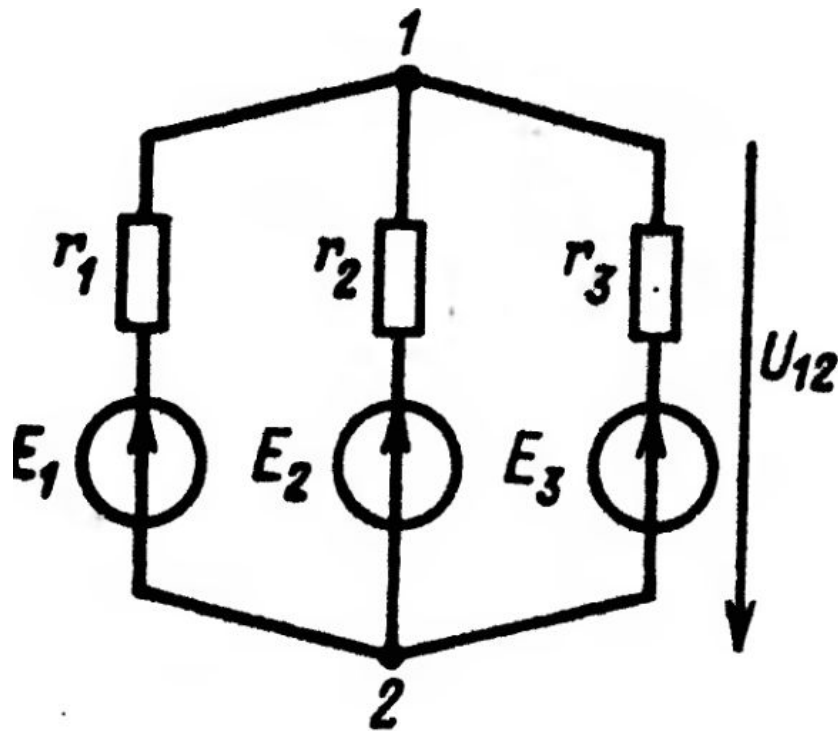


Рис.
18.1.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sum E/r}{\sum 1/r} \quad (18.1)$$

$$U_{12} = \frac{E_1/r_1 + E_2/r_2 + E_3/r_3}{1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3}$$

(18.2)

Метод контурных токов

Метод контурных токов позволяет уменьшить число совместно решаемых уравнений до $K = B - B_j - Y + 1$ и основан на применении второго закона Кирхгофа. (где B - общее число ветвей, B_j - число ветвей с источниками тока, Y - общее число узлов, K число независимых контуров)

Рассмотрим сущность метода сначала для расчета схемы цепи без источников тока, т. е. при $B_j = 0$:

1) выбираем $K = B - Y + 1$ независимых контуров и положительных направлений так называемых контурных токов, каждый из которых протекает по всем элементам соответствующего контура.

Для планарных схем, т. е. допускающих изображение на плоскости без пересечения ветвей, достаточным условием выделения K независимых контуров является наличие в каждом из них хотя бы одной ветви, принадлежащей только этому контуру;

2) для K независимых контуров составляем уравнения по второму закону Кирхгофа, совместное решение которых определяет все контурные токи;

3) ток каждой ветви определяем по первому закону Кирхгофа как алгебраическую сумму контурных токов в соответствующей ветви.

Метод контурных токов (примеры)

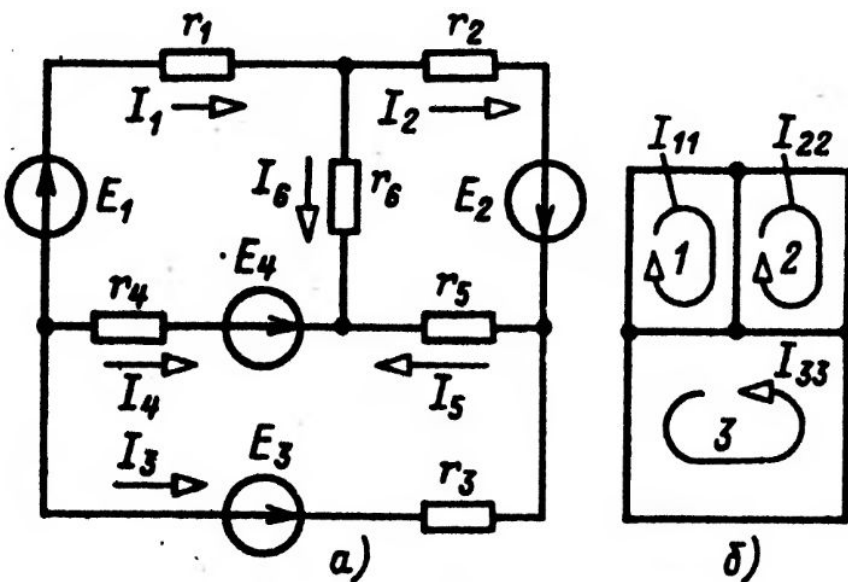


Рис.
20.1

контур 1

$$(r_1 + r_4 + r_6)I_{11} - r_6I_{22} + r_4I_{33} = E_1 - E_4;$$

контур 2

$$-r_6I_{11} + (r_2 + r_5 + r_6)I_{22} + r_5I_{33} = E_2;$$

контур 3

$$r_4I_{11} + r_5I_{22} + (r_3 + r_4 + r_5)I_{33} = E_3 - E_4,$$

(20.1)

$$\begin{vmatrix} r_1 + r_4 + r_6 & -r_6 & r_4 \\ -r_6 & r_2 + r_5 + r_6 & r_5 \\ r_4 & r_5 & r_3 + r_4 + r_5 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ I_{33} \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} E_1 - E_4 \\ E_2 \\ E_3 - E_4 \end{vmatrix}$$

(20.2)

Метод контурных токов (примеры)

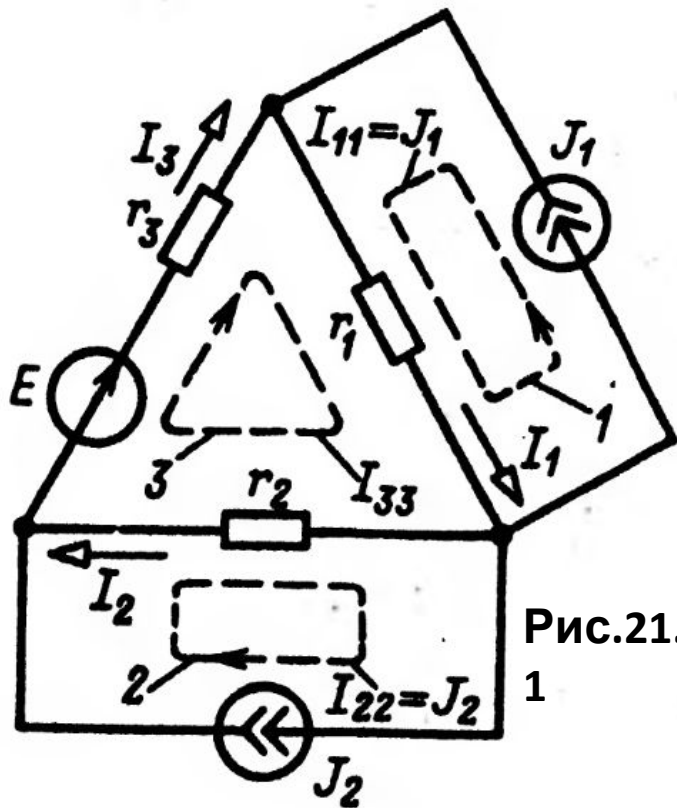


Рис.21.
1

При расчете схемы замещения с источниками тока возможны упрощения. Контурный ток, выбранный так, что других контурных токов в ветви с источником тока нет, известен. Поэтому в схеме с B ветвями, B_j из которых содержат источники тока, число независимых контуров без источников тока и соответствующих им неизвестных контурных токов равно $K = B - B_j - Y + 1$. В цепи на схеме число ветвей $B = 5$, ветвей с источниками тока $B_j = 2$, узлов $Y = 3$, независимых контуров без источников тока $K = B - B_j - Y + 1 = 5 - 2 - 3 + 1 = 1$ (контур 3). Уравнение по второму закону Кирхгофа для контура 3 при выбранных

включениях контурных токов:

$$r_1 I_{11} - r_2 I_{22} + (r_1 + r_2 + r_3) I_{33} = E, \quad (21.1)$$

$$I_{33} = \frac{E - r_1 I_{11} + r_2 I_{22}}{r_1 + r_2 + r_3} \quad (21.2)$$

где $I_{11} = J_1$, $I_{22} = J_2$ — известные токи контуров 1 и 2. (21.3)

Метод эквивалентного генератора (активного двухполюсника)

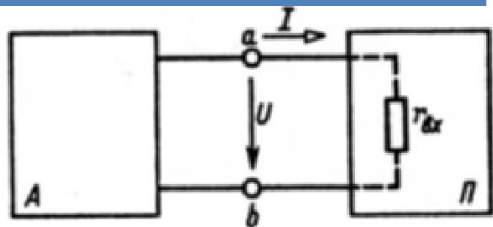


Рис.

22.1

Двухполюсником называется цепь, которая соединяется с внешней относительно нее частью цепи через два вывода - полюса. Различают активные и пассивные двухполюсники.

$$U = U_X - r_{ЭК} I \quad (22.1)$$

$$r_{ЭК} = r_{ВЫХ} = U_X / I_K$$

(22.2)

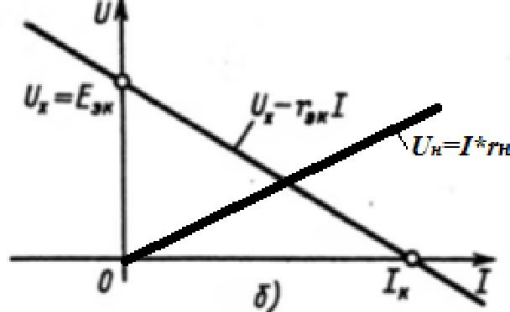
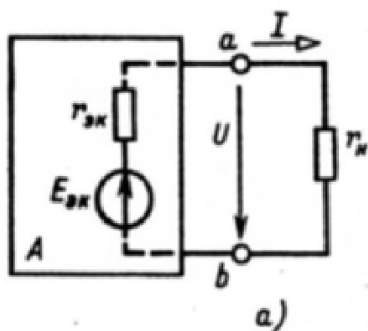


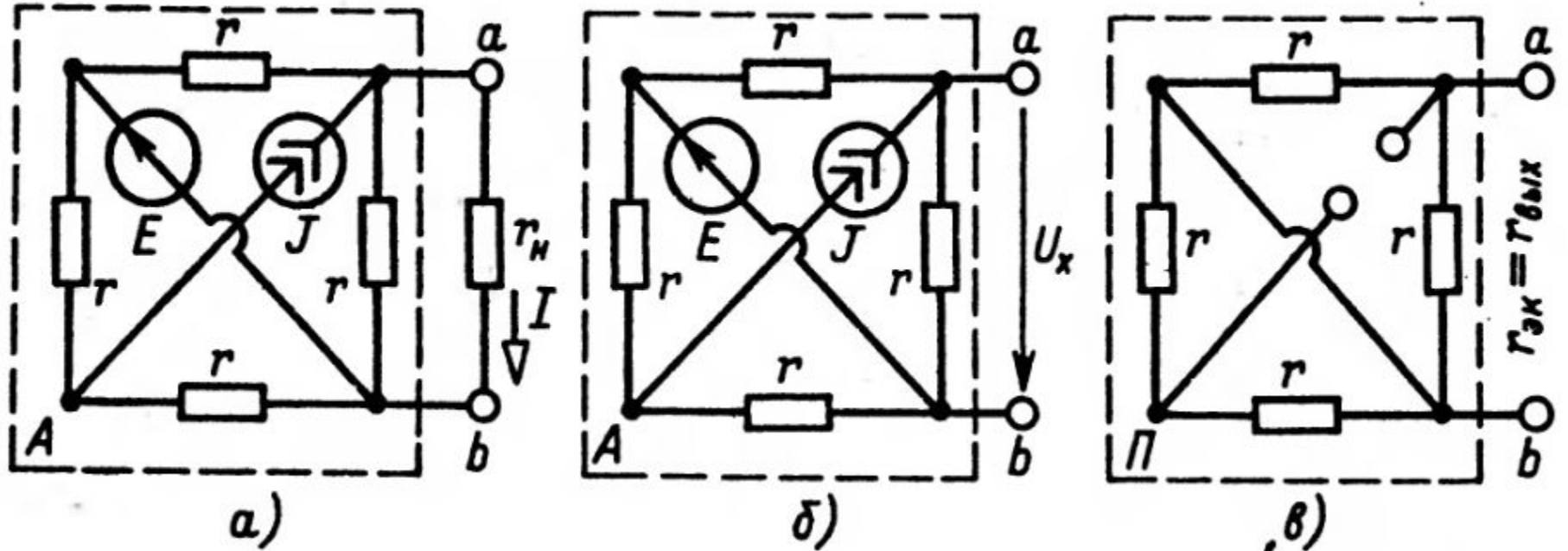
Рис.

22.2

$$I = \frac{E_{ЭК}}{r_{н} + r_{ЭК}} = \frac{U_X}{r_{н} + r_{ВЫХ}}$$

(22.3)

Метод эквивалентного генератора (активного двухполюсника)



$$U_x = rJ/2 + E/2 \quad (23.1)$$

$$r_{\text{вых}} = r/2 \quad (23.2)$$

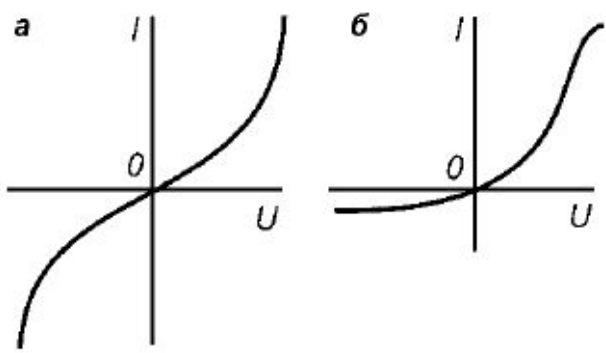
$$I = \frac{rJ/2 + E/2}{r_n + r/2}$$

(23.3)

Рис. 23.1 Эквивалентные преобразования сложной цепи

Лекция 5

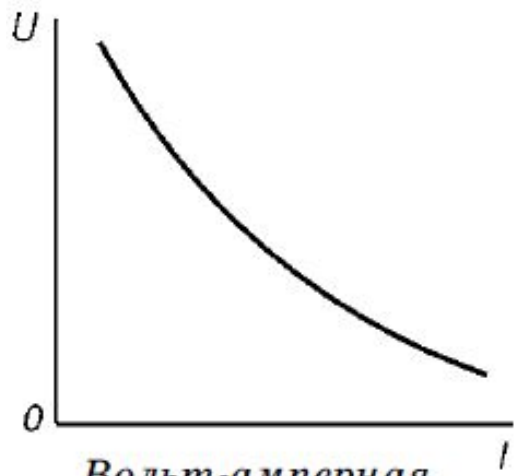
- НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ
ПОСТОЯННОГО ТОКА**
- МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ
ЭЛЕМЕНТАМИ**
- ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ, ОСНОВНЫЕ
ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**



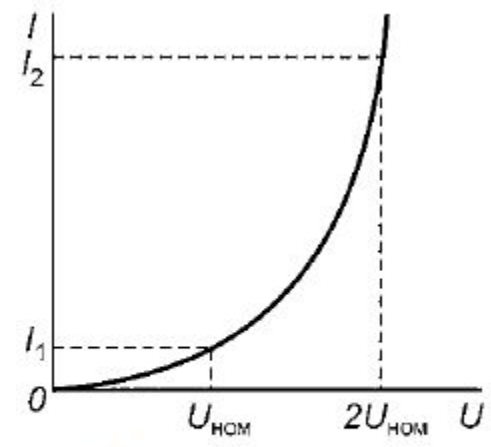
Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов

a — симметричная; *b* — несимметричная.

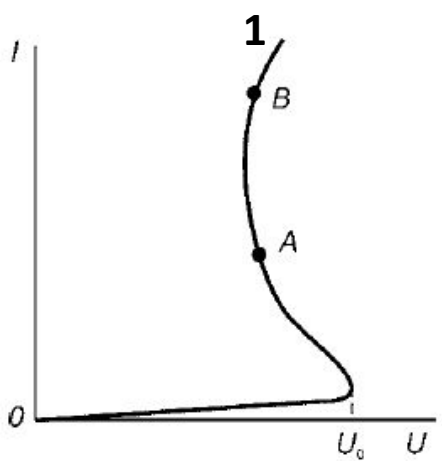
Рис.24.



Вольт-амперная характеристика электрической дуги



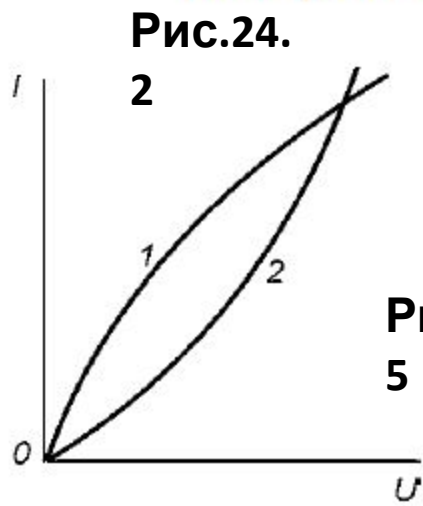
Вольт-амперная характеристика тиристового элемента



Вольт-амперная характеристика лампы с тлеющим разрядом

Рис.24.

4

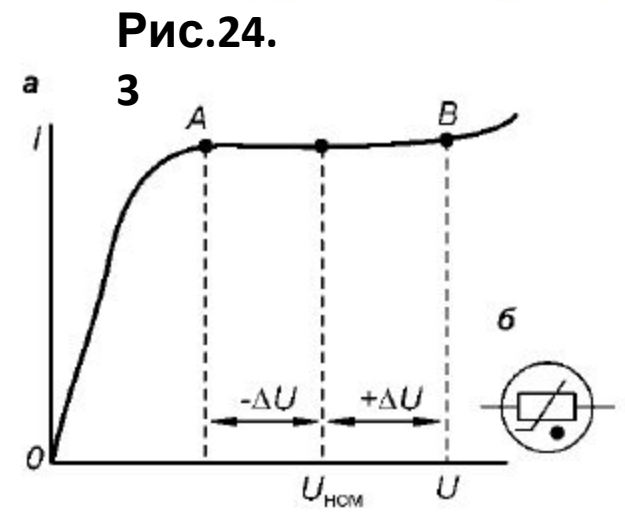


Вольт-амперные характеристики ламп накаливания

1 — с вольфрамовой нитью; 2 — с угольной нитью.

Рис.24.

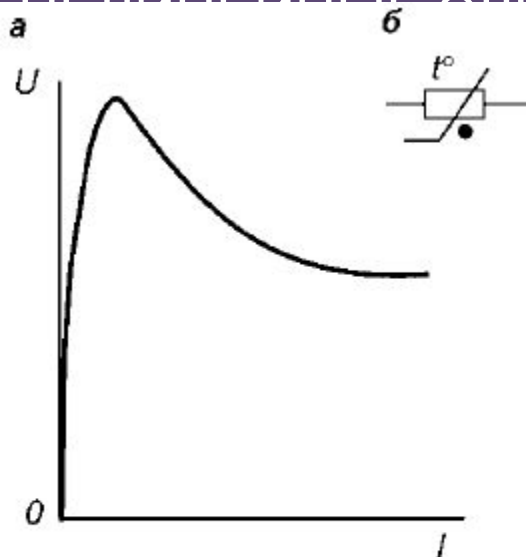
Рис.24.
5



Бареттер

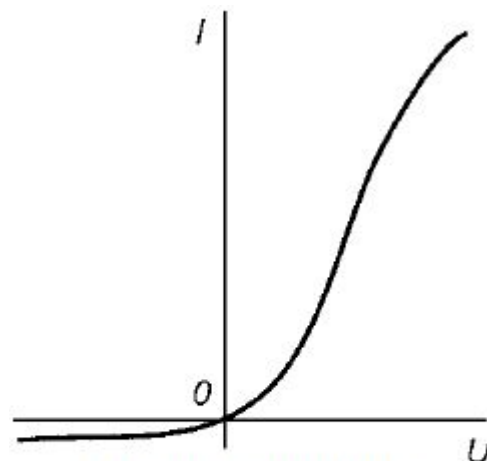
Рис.24.
6

a — вольт-амперная характеристика; *б* — условное обозначение на электрических схемах.

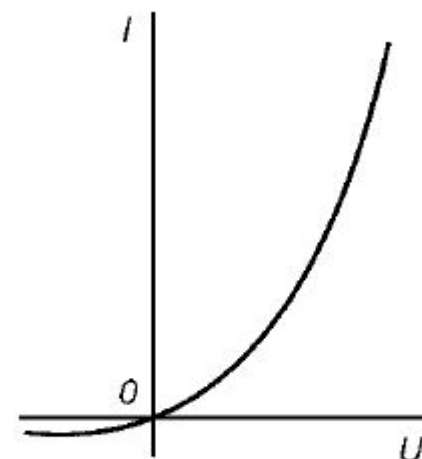


Термистор

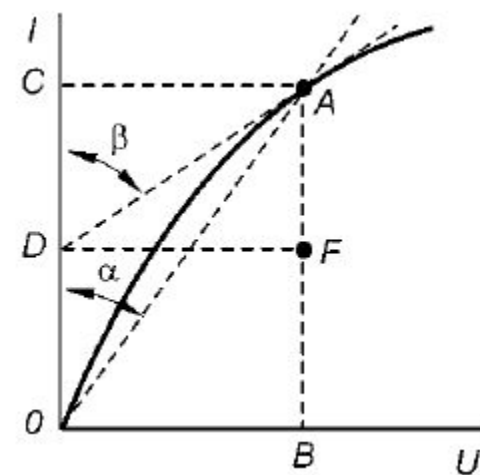
а — вольт-амперная характеристика; *б* — условное обозначение на электрических схемах.



Вольт-амперная характеристика электронной лампы (диода)



Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода



$$R_{\text{ст}} = \frac{U}{I} = \frac{m_U |OB|}{m_I |BA|} = m_R \operatorname{tg} \alpha, \quad (25.1)$$

где m_U , m_I , m_R — масштабные коэффициенты для напряжения, тока и сопротивления соответственно.

$$R_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI} = \frac{m_u |DF|}{m_i |FA|} = m_R \operatorname{tg} \beta. \quad (25.2)$$

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Графический метод расчета (последовательное соединение

элементов)
Все методы основаны на использовании законов Кирхгофа, которые справедливы для расчета электрических цепей и с нелинейными элементами.

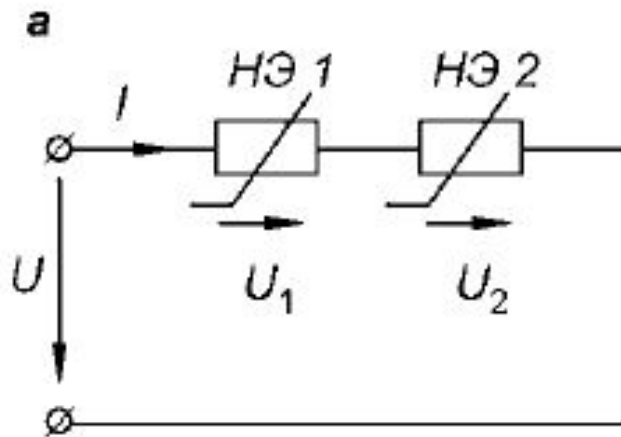


Рис.26.

1
Последовательное соединение
нелинейных элементов

a — схема; b — вольтамперные характеристики элементов и цепи.

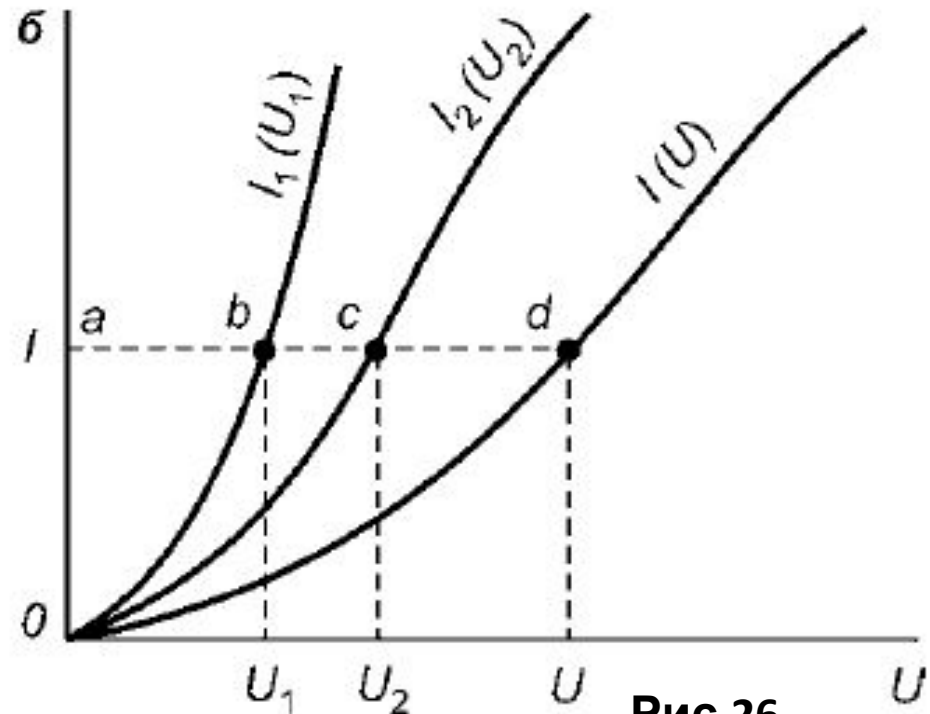


Рис.26.

2

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Графический метод расчета (параллельное соединение элементов)
Все методы основаны на использовании законов Кирхгофа, которые справедливы для расчета электрических цепей и с нелинейными элементами.

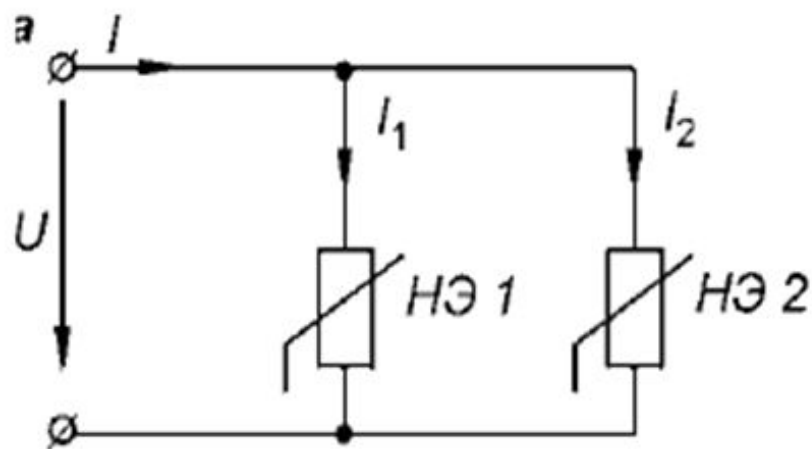


Рис.27.

1
Параллельное соединение
нелинейных элементов

а — схема; б — вольт-амперные характеристики элементов и цепи.

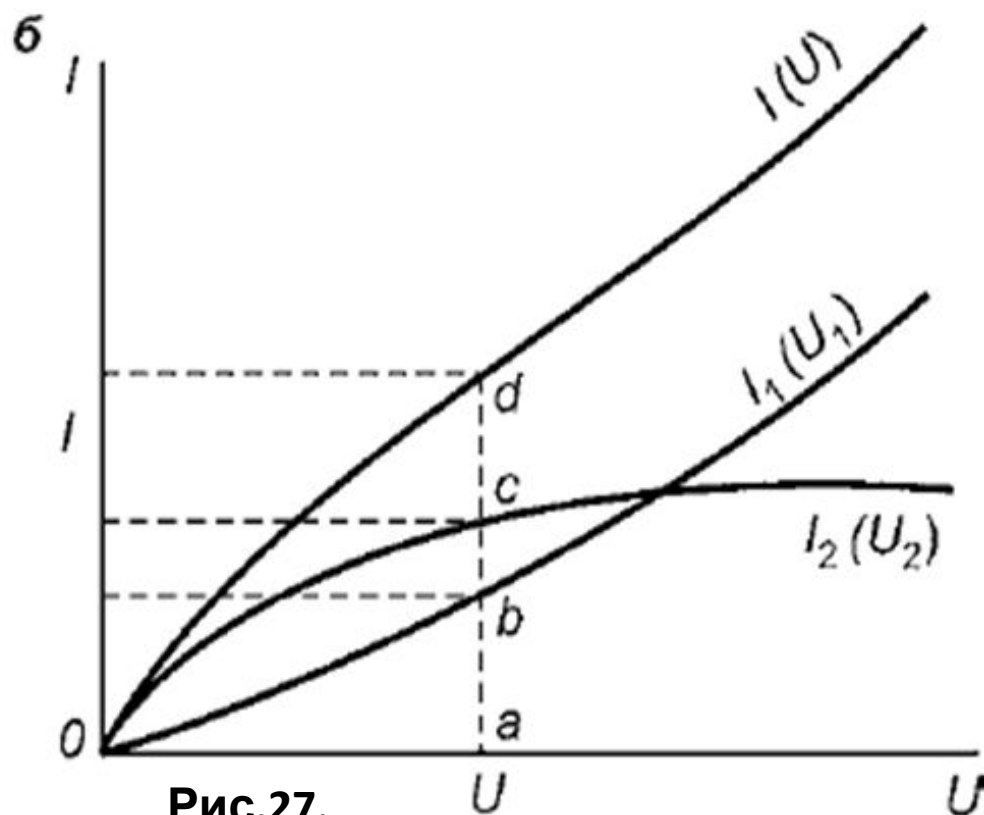
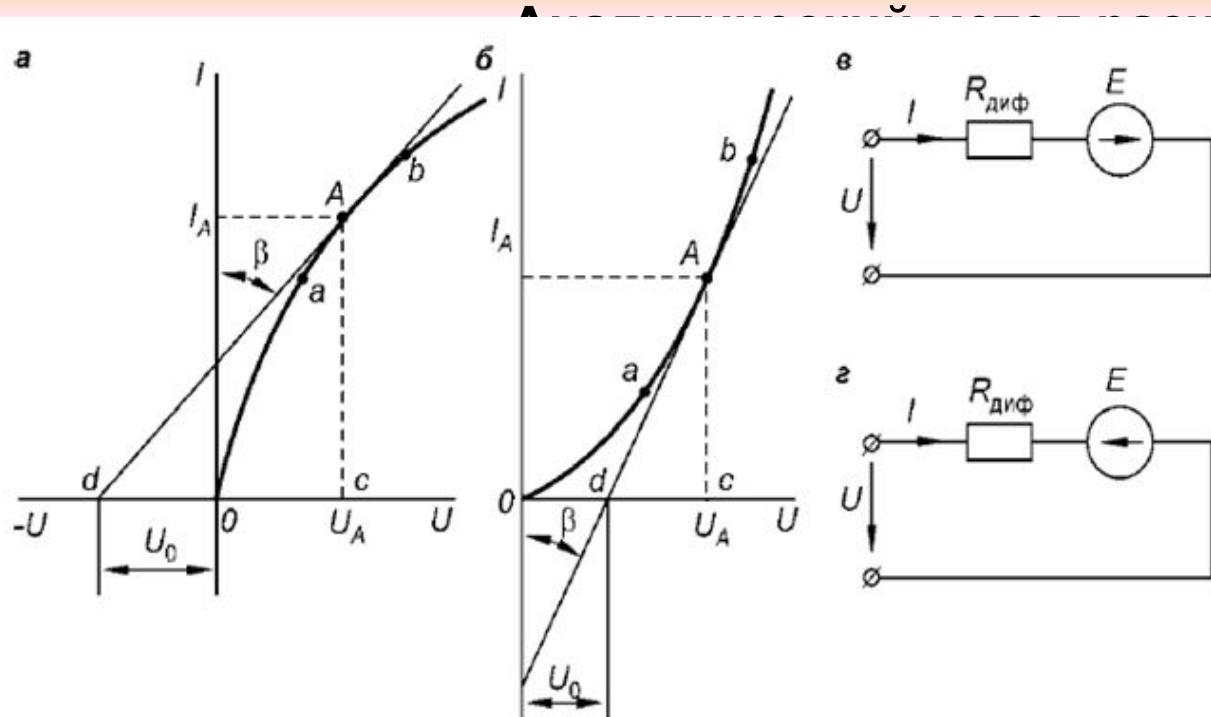


Рис.27.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ



эта

$$U = E + R_{\text{диф}} I \quad (28.3)$$

$$U = -E + R_{\text{диф}} I \quad (28.4)$$

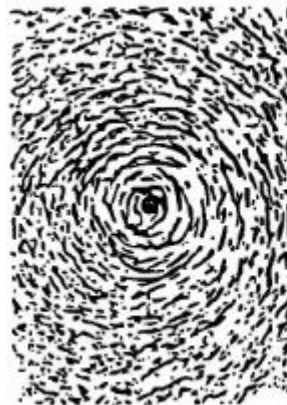
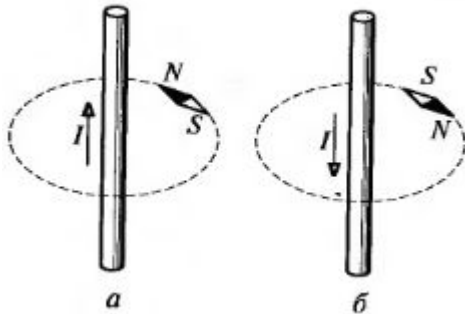
Примеры использования вольт-амперных характеристик для аналитического расчета нелинейной цепи и построения схем замещения нелинейного элемента

а, в — с выпуклой характеристикой; б, г — с вогнутой характеристикой.

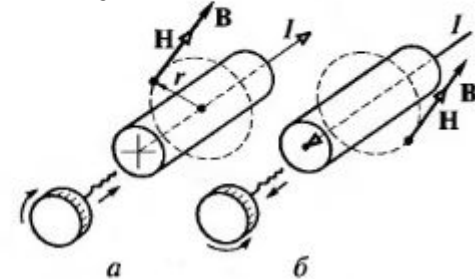
$$U_A = -U_0 + m_u \frac{I_A}{m_i} \operatorname{tg} \beta = -U_0 + m_R I_A \operatorname{tg} \beta \quad (28.1)$$

$$U_A = -U_0 + R_{\text{диф}} I_A \quad (28.2)$$

Электромагнетизм, магнитные цепи постоянного тока



Правило буравчика



$$\mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H} = \mu_a \mathbf{H}$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ — магнитная постоянная

$\mu_a = \mu_r \mu_0$ — абсолютная магнитная проницаемость

Совокупность магнитных линий вектора магнитной индукции $\mathbf{B}$ через поверхность, ограниченную замкнутым контуром, называется магнитным потоком Φ .

Основная единица измерения напряженности магнитного поля в СИ — ампер на метр (А/м); индукции — тесла (Тл): $1 \text{ Тл} = 1 \text{ В} \cdot \text{с/м}^2$; потока — вебер (Вб): $1 \text{ Вб} = 1 \text{ В} \cdot \text{с}$.

Электромагнетизм, магнитные цепи постоянного тока

Магнитные свойства вещества

ДИАМАГНЕТИКИ — $M < 1$. $M_{\text{ВИСМУТА}} = 0,9998$ (СВИНЕЦ, ЦИНК, АЗОТ И ДР.).

ПАРАМАГНЕТИКИ — $M > 1$. $M_{\text{АЛЮМИНИЯ}} = 1,000023$ (КИСЛОРОД, НИКЕЛЬ И ДР.).

ДЛЯ ПАРА-

И ДИАМАГНЕТИКОВ НАМАГНИЧЕННОСТЬ I ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА ИНДУКЦИИ B_0 МАГНИТНОГО ПОЛЯ

ФЕРРОМАГНЕТИКИ — $M \gg 1$. $M_{\text{СТАЛИ}} = 8 \cdot 10^3$ (ЖЕЛЕЗО, НИКЕЛЬ, КОБАЛЬТ И ИХ СПЛАВЫ). СПЛАВ ЖЕЛЕЗА С НИКЕЛЕМ: $M = 2,5 \cdot 10^5$.

Свойства ферромагнетиков

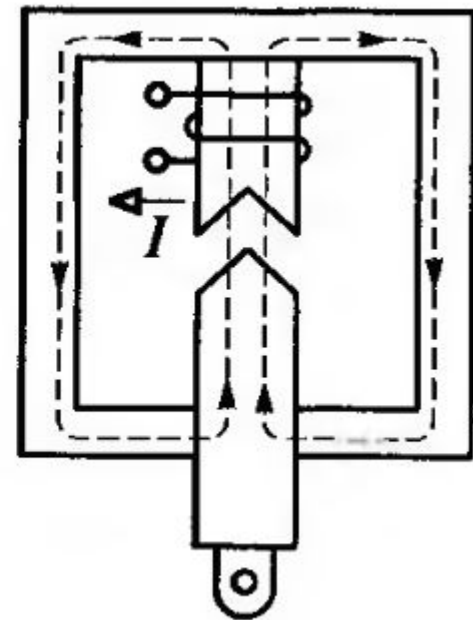
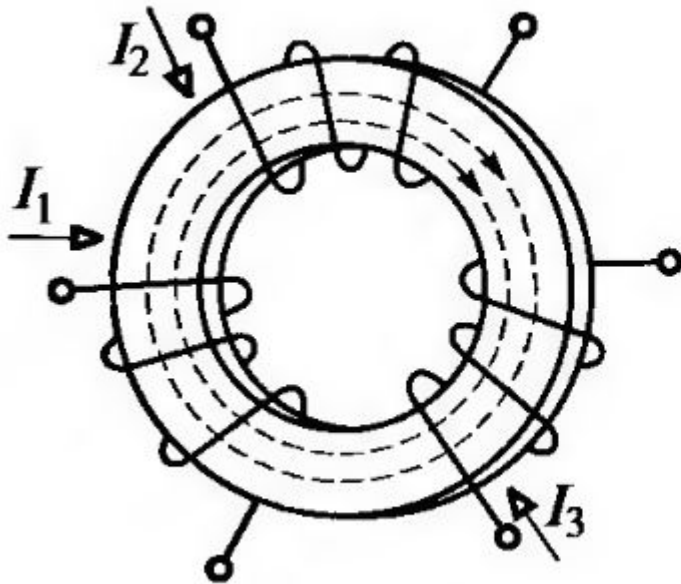
Обладают остаточным магнетизмом.

μ зависит от индукции внешнего магнитного поля.

Температура, при которой исчезают ферромагнитные свойства, называется точкой Кюри (вещество становится парамагнетиком; точка Кюри для железа равна 770°C , для никеля 360°C).

Магнитные цепи

Магнитной цепью (магнитопроводом) называется совокупность различных ферромагнитных и неферромагнитных частей электротехнических устройств для создания магнитных полей нужных конфигурации и интенсивности. В зависимости от принципа действия электротехнического устройства магнитное поле может возбуждаться либо постоянным магнитом, либо катушкой с током, расположенной в той или иной части магнитной цепи.



Закон полного тока

Подобно электрической цепи для магнитной цепи применимы понятия «ветвь», «узел», «контур».

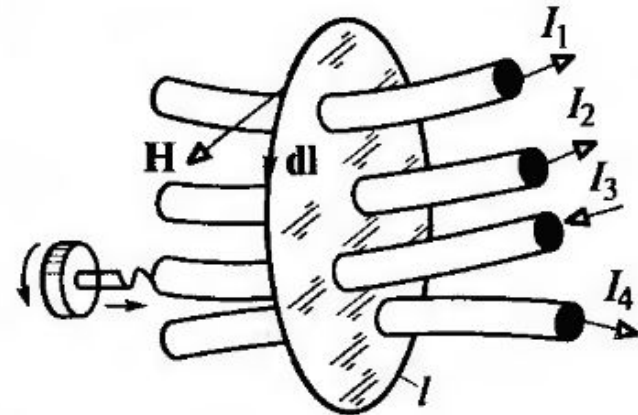
В большинстве случаев магнитную цепь следует считать нелинейной и лишь при определенных допущениях и определенных режимах работы —

$$\oint \mathbf{H} d\mathbf{l} = \sum I = F, \quad (1.32)$$

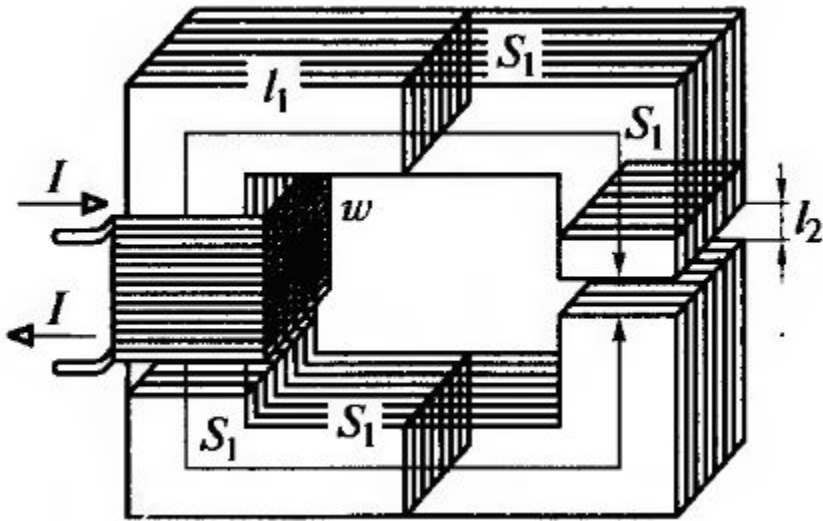
Интеграл от напряженности магнитного поля по любому замкнутому контуру (циркуляция вектора) равен алгебраической сумме токов, сцепленных с этим контуром

Величина $\sum I = F$

называется магнитодвижущей силой (МДС) в замкнутом контуре



Расчет неразветвленной магнитной цепи



$$\sum_{k=1}^2 H_k l_k = H_1 l_1 + H_2 l_2 = U_{M1} + U_{M2} = I w = F \quad (1.33)$$

$$\Phi = B_1 S_1 = B_2 S_2 \quad (2.33)$$

$$R_{M1} = \frac{U_{M1}}{\Phi} = \frac{H_1 l_1}{B_1 S_1} = \frac{l_1}{\mu_a(U_{M1}) S_1}; \quad (3.33)$$

$$R_{M2} = \frac{U_{M2}}{\Phi} = \frac{H_2 l_2}{B_2 S_2} = \frac{l_2}{\mu_0 S_2} = \text{const}$$

Рис. 4.33

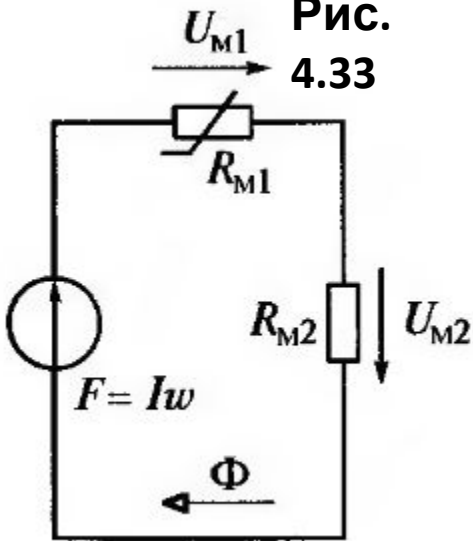


Рис.

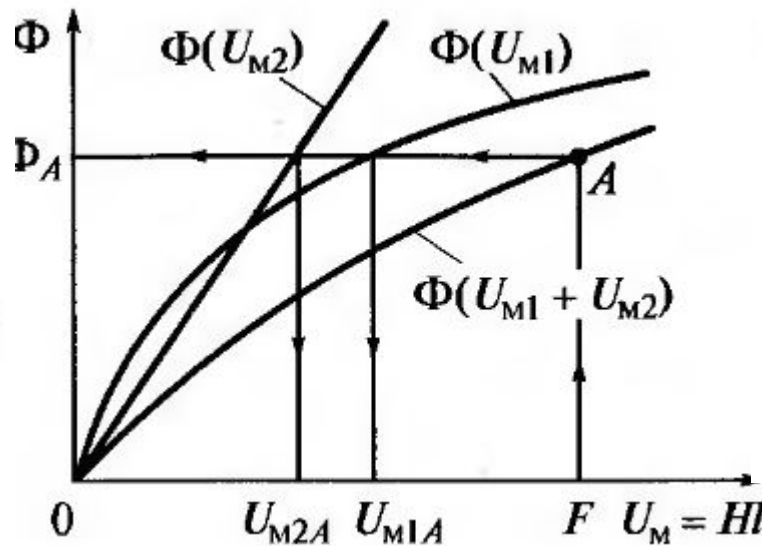


Рис.

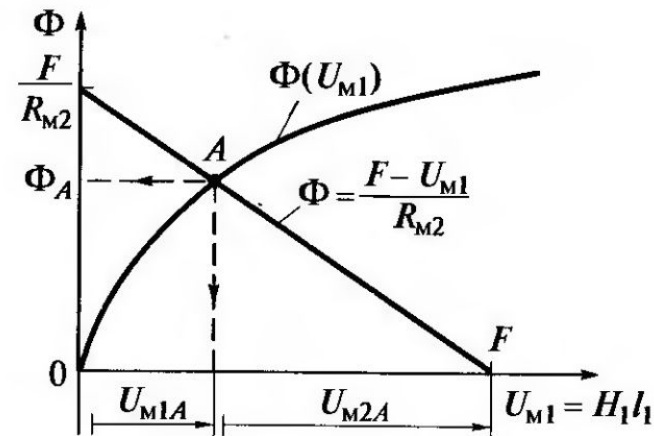


Рис. 3.33