

---

# Электротехника и электроника

---

Доцент Габриелян Ш.Ж.

---

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

---

**1 Основные понятия и  
определения**

---

# Электрическая цепь

*Электрическая цепь - совокупность соединенных проводами элементов, образующая путь для электрического тока при условии, что электромагнитные процессы могут быть описаны с помощью понятий о токе, электродвижущей силе (ЭДС) и напряжении.*

---

---

## *Элемент электрической цепи*

- *Элемент электрической цепи — отдельное устройство, входящее в состав цепи и выполняющее в ней определенную функцию,*
  - *К основным элементам электрической цепи относятся: резистор, индуктивная катушка, конденсатор, источники тока и ЭДС.*
-

---

# *Схема электрической цепи*

- *Схема электрической цепи — это графическое изображение цепи с помощью условных обозначений ее элементов и их соединений.*
-

# *Электрический ток проводимости*

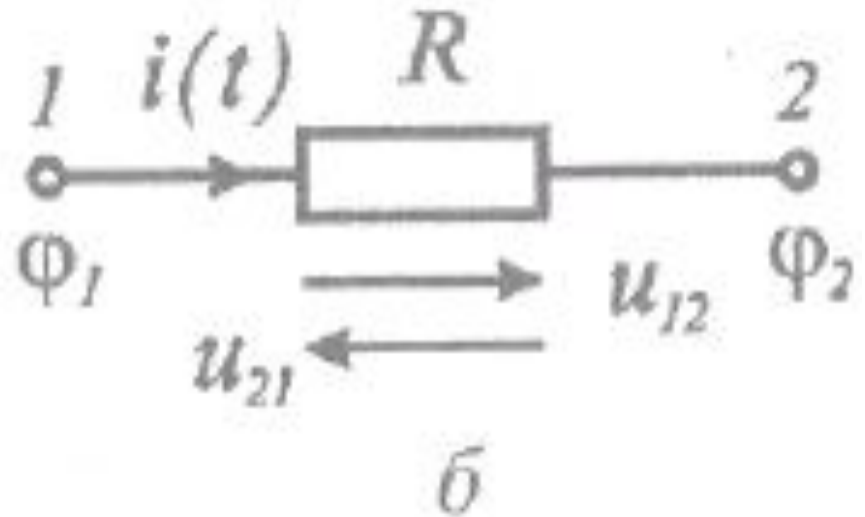
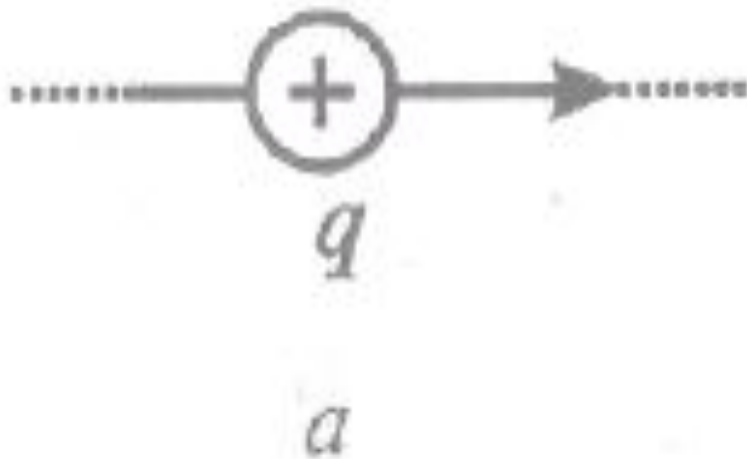
- *Электрический ток проводимости — это упорядоченное движение носителей электрического заряда в веществе или вакууме.*
- *Ток определяется производной по времени  $t$  от электрического заряда  $q$ , переносимого через поперечное сечение проводника:*

$$I(t) = dq/dt.$$

- *В системе СИ заряд  $q$  измеряется в кулонах (Кл), время  $t$ —в секундах (с), ток  $i$  — в амперах (А).*

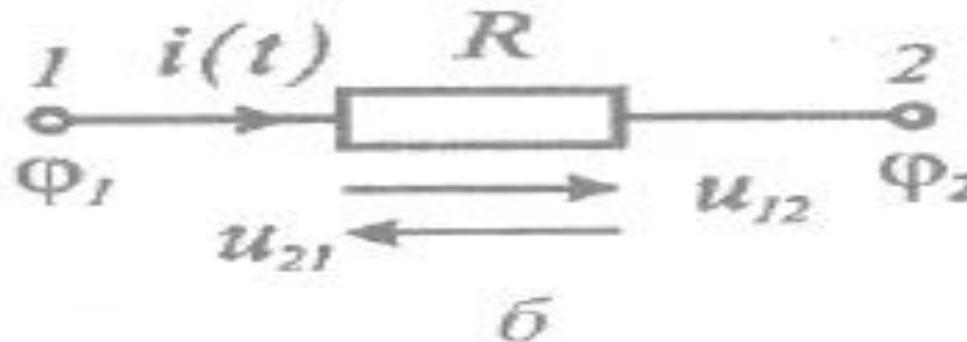
# Направление тока

За направление тока  $I(t)$  принято направление движения положительного заряда  $q$



# Электрическое напряжение

Электрическое напряжение  $U(t)$  — это разность электрических потенциалов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  между зажимами 1 и 2 участка цепи  $R$ , по которому проходит ток  $i(t)$ , т. е.  $U(t) = \varphi_1 - \varphi_2$ .

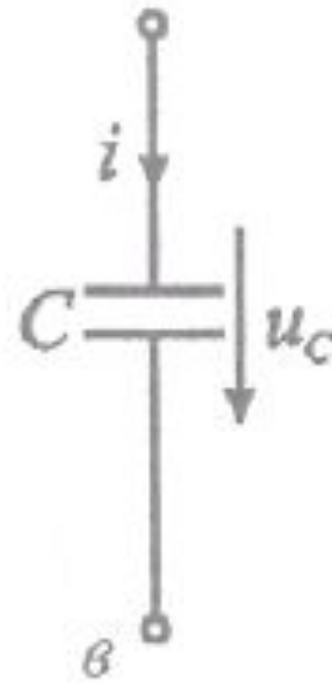
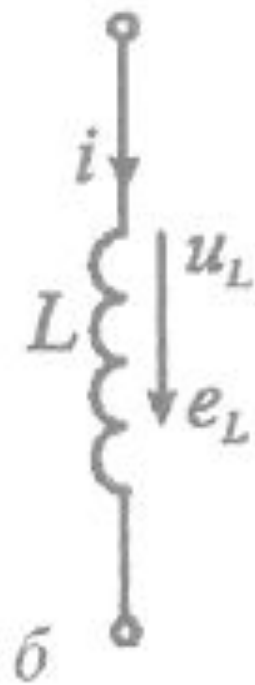
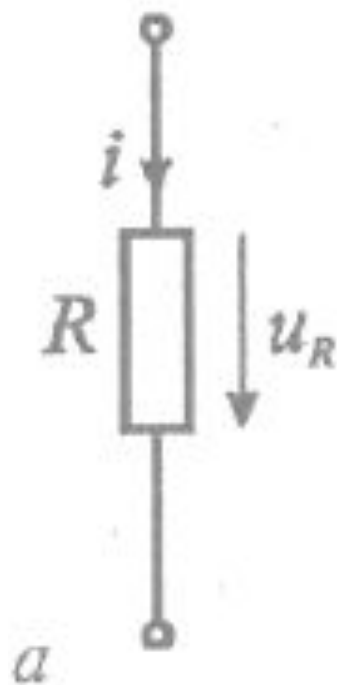




# Разность электрических потенциалов

- Разность электрических потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  определяется энергией  $W$ , затрачиваемой на перемещение единицы заряда  $q$  из точки 1 в точку 2, т. е.  
$$U(t) = dW/dt.$$
- В системе СИ энергия измеряется в джоулях (Дж), а напряжение в вольтах (В).

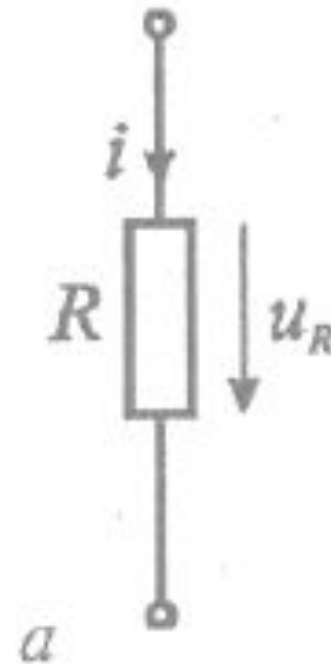
Постоянные пассивные элементы: резистор (*a*), катушка индуктивности (*б*) и конденсатор (*в*)



## Сопротивление ( $R, r$ )

- Сопротивление ( $R, r$ ) - элемент цепи, в котором происходит необратимое преобразование электрической энергии в тепловую, а напряжение на его зажимах и ток через него связаны пропорциональной зависимостью:

$$U = R \cdot i, \quad R = U/i$$



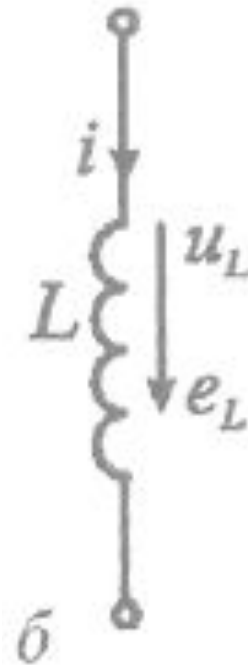
# Проводимость $g$

- Величина, обратная сопротивлению, называется *проводимостью*:  
$$g = 1/R, g = i/U.$$
- Сопротивление  $R$  (или  $r$ ) измеряется в омах (Ом), а проводимость  $g$  — в сименсах (См).

# Индуктивность $L$

Индуктивность  $L$  — элемент цепи, в магнитном поле которого происходит обратимое накопление энергии, а напряжение на его зажимах и ток через него связаны через производную:

$$U_L = L \cdot di/dt.$$



# Потокосцепление $\Psi$

- При протекании тока  $i$  через индуктивную катушку с числом витков  $m$  в ней возникают магнитный поток  $\Phi$  и потокосцепление:

$$\Psi = m\Phi,$$

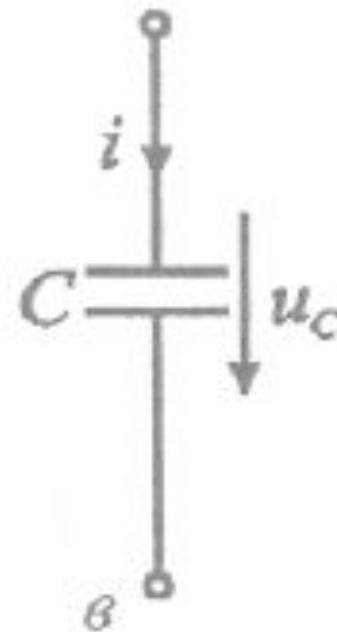
$$\Psi = L \cdot i, \quad L = \Psi/i.$$

- В системе СИ потокосцепление  $\Psi$  измеряется в веберах (Вб), индуктивность  $L$  — в генри (Гн).

# Емкость $C$

- Емкость  $C$  — элемент цепи, в электрическом поле которого происходит обратимое накопление энергии, а напряжение на его зажимах и ток через него связаны через интегрирование:

$$U_C = 1/C \int i dt.$$



## Заряд $q$

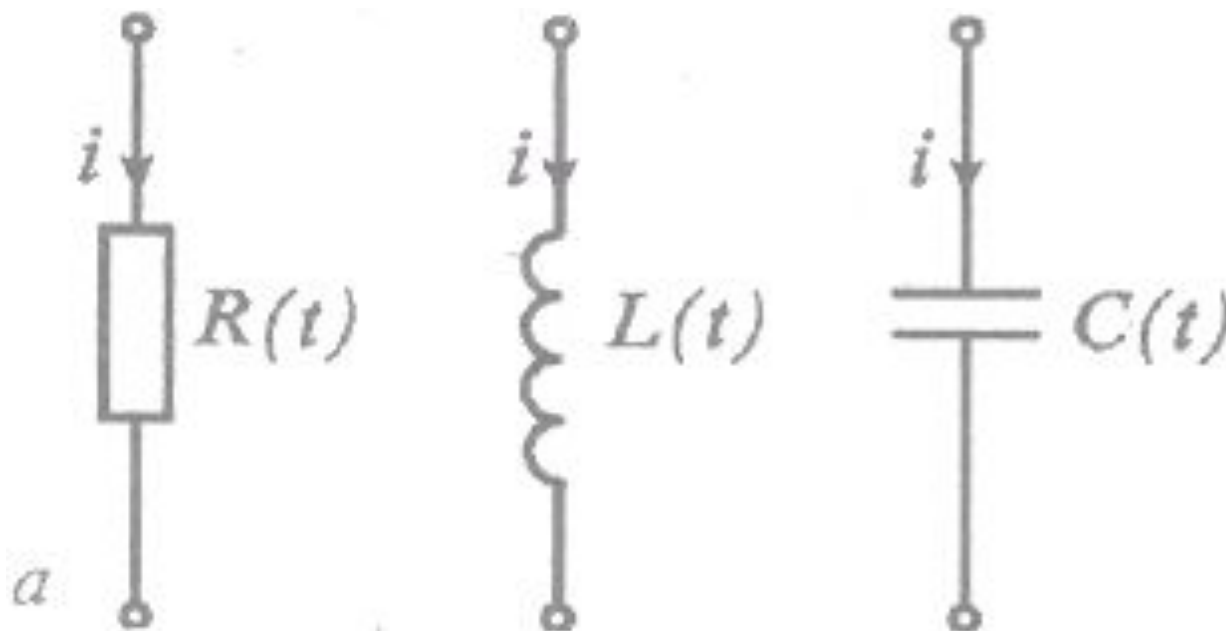
- При прохождении тока через емкостный элемент (конденсатор) на его обкладках накапливается заряд  $Q$ , значение которого пропорционально напряжению на зажимах этого элемента, т. е.

$$q = C \cdot U_c ,$$

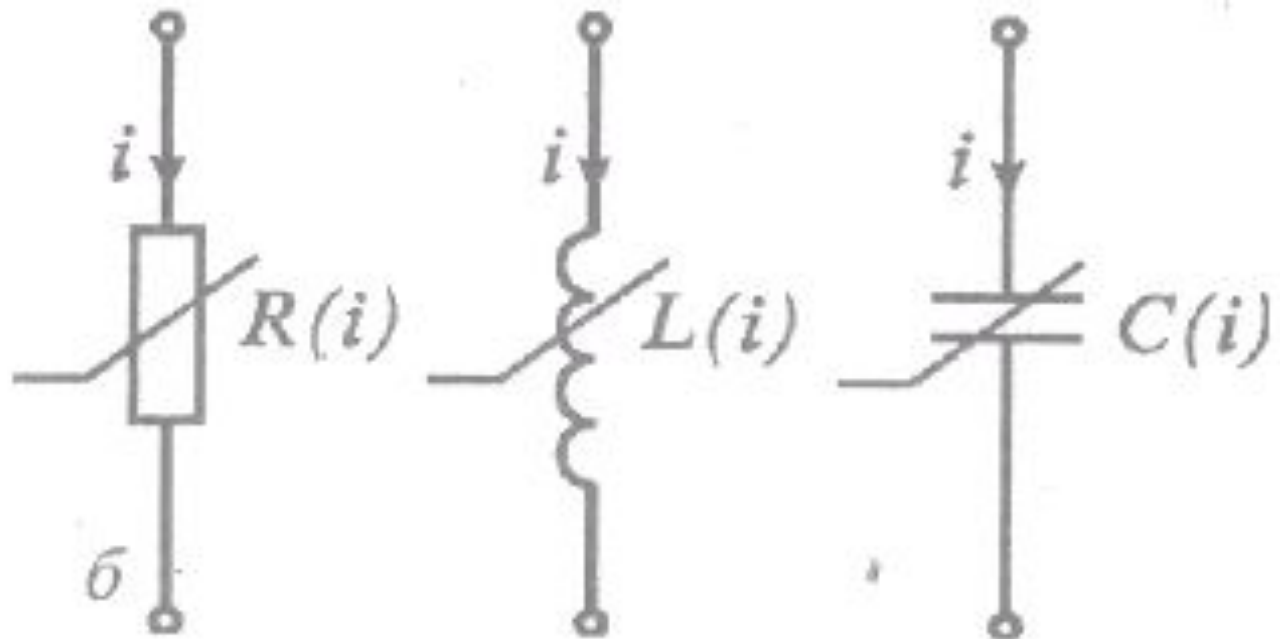
- где  $C$ — емкость, измеряемая в фарадах (Ф).



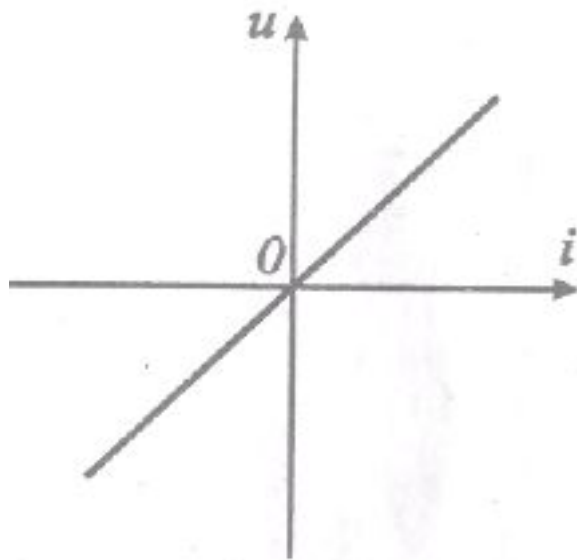
# Пассивные элементы с переменными параметрами



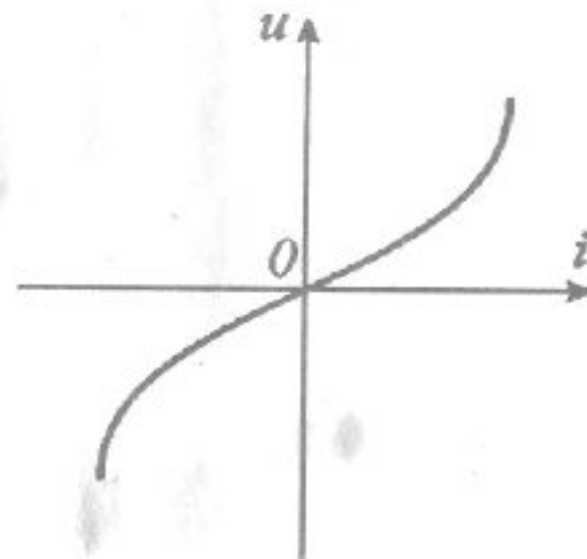
# Пассивные нелинейные элементы



# Вольтамперные характеристики линейного и нелинейного элементов электрической цепи



*a*



*б*

## *Активные электрические элементы*

- К активным элементам относятся источники энергии, которые могут быть либо источниками электродвижущей силы (ЭДС) или напряжения, либо источниками тока.

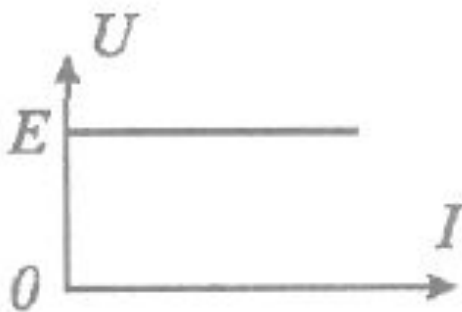
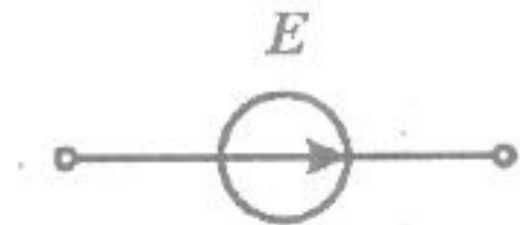
# Электродвижущая сила ( ЭДС )

- Под ЭДС понимается энергия в электрической цепи, необходимая для поддержания в ней тока, численно равная разности потенциалов (напряжению) на концах разомкнутой цепи.

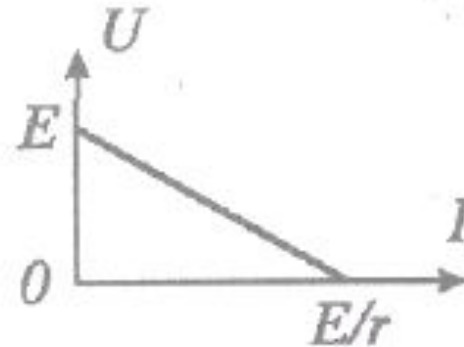
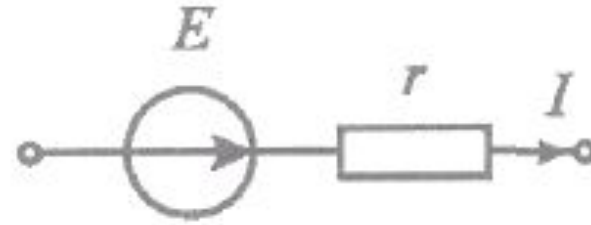
# *Идеальный и реальный источники ЭДС*

- *Идеальный источник ЭДС* - источник электрической энергии, напряжение на зажимах которого не зависит от протекающего через него тока; при этом принимается, что его внутреннее сопротивление  $r = 0$ .
- *Реальные источники ЭДС* характеризуются наличием определенного внутреннего сопротивления  $r > 0$ .

Обозначение и вольтамперные характеристики источников ЭДС:  
идеального (а) и реального (б)



а



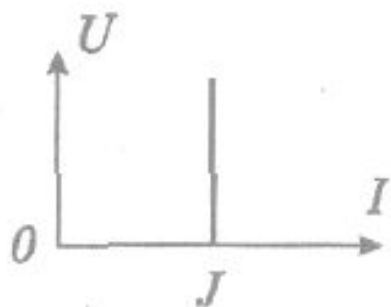
б

## *Идеальный источник тока*

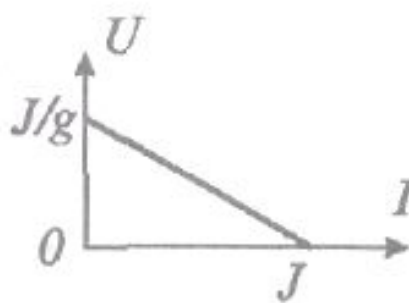
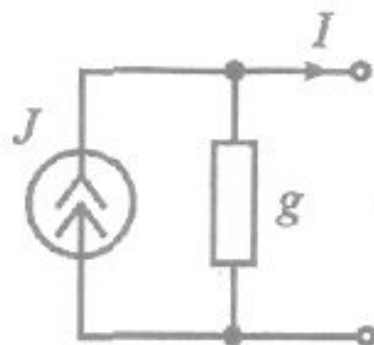
- *Идеальный источник тока* - это источник электрической энергии, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах; при этом принимается, что его внутреннее сопротивление  $r = \infty$  .
- Реальный источник тока характеризуется конечным внутренним сопротивлением  
 $r = 1/g$



Обозначение и вольтамперные  
характеристики источников тока:  
идеального (а) и реального (б)



а



б

# Топологические характеристики электрических цепей

- При расчете электрической цепи важное значение отводится ее геометрическому образу, свойства которого основаны на топологии — разделе математики, позволяющим исследовать геометрические свойства фигур независимо от их размеров и прямолинейности.
- К числу основных геометрических понятий из топологии в теории электрических цепей используются: ***ветвь, узел, контур, граф.***

## *Ветвь электрической цепи*

- **Ветвь** - участок электрической цепи, представляющий собой один элемент или последовательное соединение нескольких элементов, через которые протекает один и тот же ток.

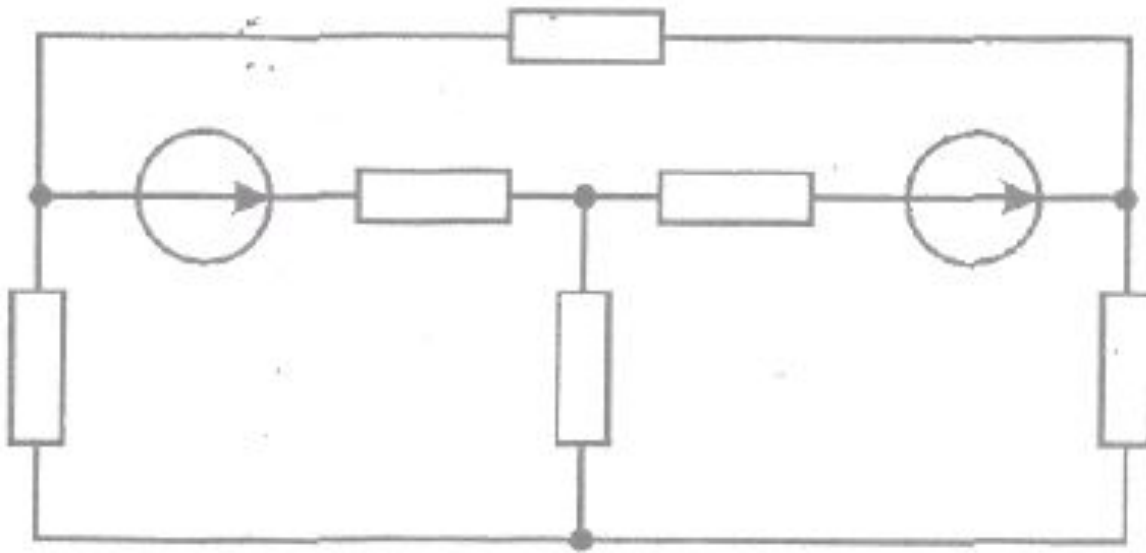
## *Узел электрической цепи*

- **Узел электрической цепи — место соединения не менее трех ветвей; на схеме узел обозначается точкой.**

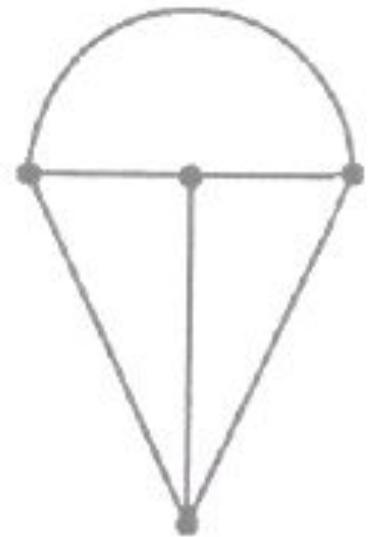
## *Контур электрической цепи*

- *Контур* электрической цепи — это любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

*Пример электрической цепи (а), имеющей 4 узла, 6 ветвей и три контура и ее топологический образ (б)*



*a*

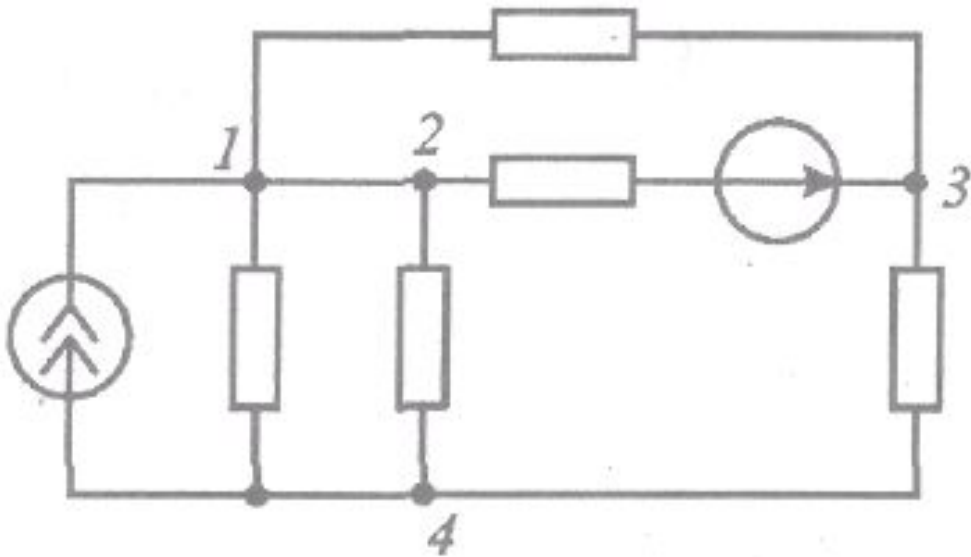


*б*

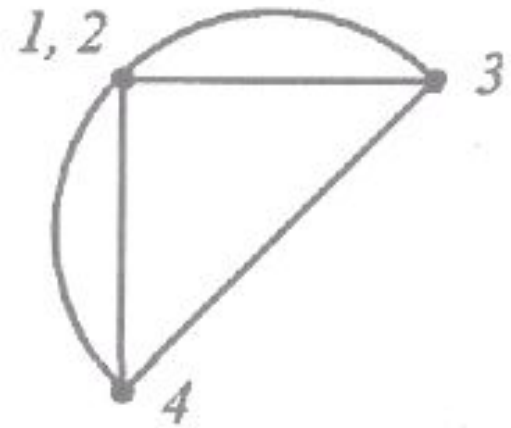
# Граф цепи, узел и ветвь графа

- *Граф цепи* — это такое изображение ее схемы, на котором все узлы заменены точками, а ветви — линиями.
- *Узел графа* — точка соединения трех и более ветвей.
- *Ветвь графа* — это ветвь схемы цепи, вырожденная в линию. Она образуется лишь из ветвей цепи, содержащих такие элементы, как  $R$ ,  $L$  и  $C$ .
- Ветвь цепи, содержащая лишь идеальные источники энергии, не образует ветви на графе.

*Электрическая цепь с идеальным источником энергии (а) и ее топологический образ (б)*



*a*



*б*



---

## *Дерево и хорда графа*

- *Дерево графа* — любая совокупность ветвей графа, соединяющих все его узлы без образования контуров.
  - ***Хорда графа*** - ветвь графа, не принадлежащая его дереву.
-

*Разновидности деревьев (сплошные линии) и хорд (пунктирные линии) для приведенного графа*

