

се электрические цепи подчиняются первому и второму законам (правилам) Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа можно сформулировать двояко:

- 1) алгебраическая сумма токов, подтекающих к любому узлу схемы, равна нулю;
- 2) сумма подтекающих к любому узлу токов равна сумме утекающих от узла токов.

Применительно к рис. 2.8, если подтекающие к узлу токи считать положительными, а утекающие — отрицательными, то согласно первой формулировке

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

согласно второй —

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4.$$

Физически первый закон Кирхгофа означает, что движение зарядов в цепи происходит так, что ни в одном из узлов они не скапливаются.

Если мысленно рассечь любую схему произвольной плоскостью и все находящиеся по одну сторону от нее рассматривать как некоторый большой «узел», то алгебраическая сумма токов, входящих в этот «узел», будет равна нулю.

Второй закон Кирхгофа также можно сформулировать двояко:

- 1) алгебраическая сумма падений напряжения в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС вдоль того же контура:

$$\sum IR = \sum E$$

(в каждую из сумм соответствующие слагаемые входят со знаком плюс, если они совпадают с направлением обхода контура, и со знаком минус, если они не совпадают с ним);

- 2) алгебраическая сумма напряжений (не падений напряжения!) вдоль любого замкнутого контура равна нулю:

$$\sum U_{kl} = 0.$$

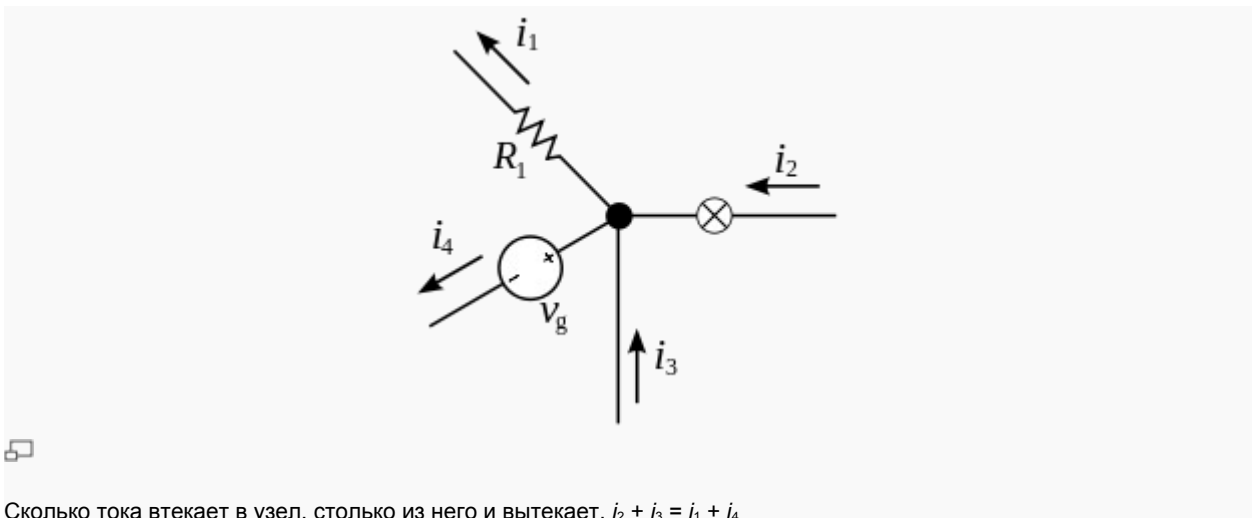
Для периферийного контура схемы рис. 2.9

$$U_{ae} + U_{ec} + U_{cd} + U_{da} = 0.$$

Законы Кирхгофа справедливы для линейных и нелинейных цепей при любом характере изменения во времени токов и напряжений.

Сделаем два замечания: 1) запись уравнения по второму закону Кирхгофа в форме (2.4) может быть получена, если обойти какой-либо контур некоторой схемы и записать выражение для потенциала произвольной точки этого контура через потенциал этой же точки (взяв ее за исходную при обходе) и падения напряжения и ЭДС; 2) при записи уравнений по второму закону Кирхгофа в форме (2.4а) напряжения  $U_k$  участков цепи включают в себя и падения напряжения участков, и имеющиеся на этих участках ЭДС.

### Первое правило



Первое правило Кирхгофа гласит, что алгебраическая сумма токов в каждом узле любой цепи равна нулю. При этом втекающий в узел ток принято считать положительным, а вытекающий — отрицательным:

$$\sum_{j=1}^n I_j = 0.$$

Иными словами, сколько тока втекает в узел, столько из него и вытекает. Это правило следует из фундаментального закона сохранения заряда.

### Второе правило

Второе правило Кирхгофа (правило напряжений Кирхгофа) гласит, что алгебраическая сумма падений напряжений на всех ветвях, принадлежащих любому замкнутому контуру цепи, равна алгебраической сумме ЭДС ветвей этого контура. Если в контуре нет источников ЭДС (идеализированных генераторов напряжения), то суммарное падение напряжений равно нулю:

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^m U_k = \sum_{k=1}^m R_k I_k;$$

для постоянных напряжений

$$\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^m u_k = \sum_{k=1}^m R_k i_k + \sum_{k=1}^m u_{Lk} + \sum_{k=1}^m u_{Ck}.$$

для переменных напряжений

**Это правило вытекает из 3-го уравнения Максвелла, в частном случае стационарного магнитного поля.**

Иными словами, при полном обходе контура потенциал, изменяясь, возвращается к исходному значению. Частным случаем второго правила для цепи, состоящей из одного контура, является [закон Ома](#) для этой цепи. При составлении уравнения напряжений для контура нужно выбрать положительное направление обхода контура. При этом падение напряжения на ветви считают положительным, если направление обхода данной ветви совпадает с ранее выбранным направлением тока ветви, и отрицательным — в противном случае (см. далее).

Правила Кирхгофа справедливы для линейных и нелинейных линейризованных цепей при любом характере изменения во времени токов и напряжений.

## Особенности составления уравнений для расчёта токов и напряжений

---

Если цепь содержит  $P$  узлов, то она описывается  $P - 1$  уравнениями токов. Это правило может применяться и для других физических явлений (к примеру, система трубопроводов жидкости или газа с насосами), где выполняется закон сохранения частиц среды и [потока](#) этих частиц.

Если цепь содержит  $m$  ветвей, из которых содержат источники тока ветви в количестве  $m_i$ , то она описывается  $m - m_i - (P - 1)$  уравнениями напряжений.

Правила Кирхгофа, записанные для  $P - 1$  узлов или  $m - (P - 1)$  контуров цепи, дают полную систему линейных уравнений, которая позволяет найти все токи и все напряжения.

Перед тем, как составить уравнения, нужно произвольно выбрать:

положительные направления токов в ветвях и обозначить их на схеме, при этом не обязательно следить, чтобы в узле направления токов были и втекающими, и вытекающими, окончательное решение системы уравнений всё равно даст правильные знаки токов узла;

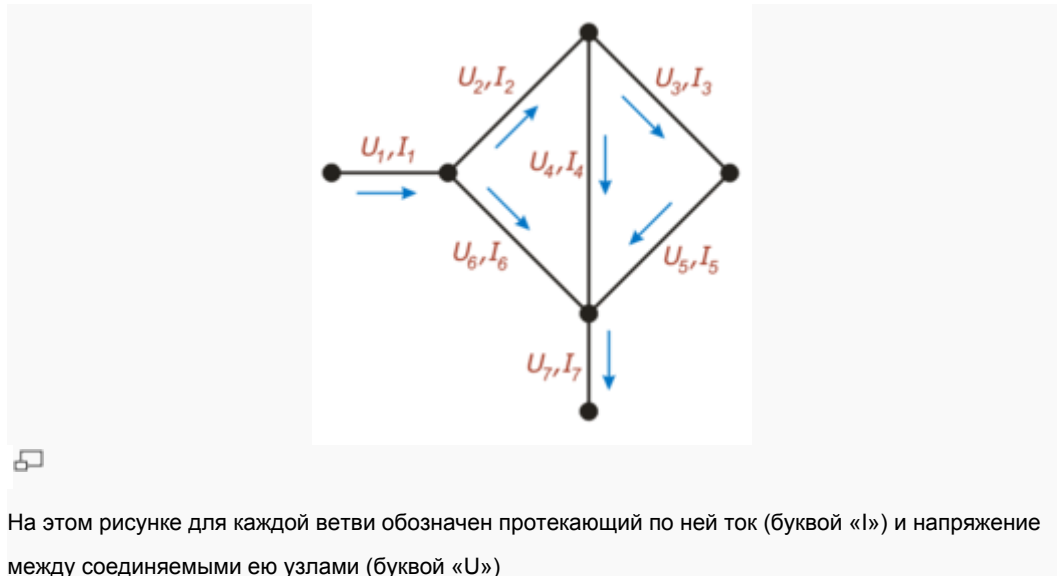
положительные направления обхода контуров для составления уравнений по второму закону, с целью единообразия рекомендуется для всех контуров положительные направления обхода выбирать одинаковыми (напр.: по часовой стрелке).

Если направление тока совпадает с направлением обхода контура (которое выбирается произвольно), падение напряжения считается положительным, в противном случае — отрицательным.

При записи линейно независимых уравнений по второму правилу Кирхгофа стремятся, чтобы в каждый новый контур, для которого составляют уравнение, входила хотя бы одна новая ветвь, не вошедшая в предыдущие контуры, для которых уже записаны уравнения по второму закону (**достаточное, но не необходимое условие**).

В сложных непланарных [графах](#) электрических цепей человеку трудно увидеть независимые контуры и узлы, каждый независимый контур (узел) при составлении системы уравнений порождает ещё 1 линейное уравнение в определяющей задаче системе линейных уравнений. Подсчёт количества независимых контуров и их явное указание в конкретном графе развит в [теории графов](#).

## Пример



Количество узлов:  $3. p - 1 = 2$

Количество ветвей (в замкнутых контурах): 4. Количество ветвей, содержащих источник тока: 0.  $m - m_i - (p - 1) = 2$

Количество контуров: 2.

Для приведённой на рисунке цепи, в соответствии с первым правилом, выполняются следующие соотношения:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_6 = 0 \\ I_2 - I_4 - I_3 = 0 \end{cases}$$

Обратите внимание, что для каждого узла должно быть выбрано положительное направление, например, здесь токи, втекающие в узел, считаются положительными, а вытекающие — отрицательными.

Решение полученной линейной системы алгебраических уравнений позволяет определить все токи узлов и ветвей, такой подход к анализу цепи принято называть [методом контурных токов](#).

В соответствии со вторым правилом, справедливы соотношения:

$$\begin{cases} U_2 + U_4 - U_6 = 0 \\ U_3 + U_5 - U_4 = 0 \end{cases}$$

Полученные системы уравнений полностью описывают анализируемую цепь, и их решения определяют все токи и все напряжения ветвей, такой подход к анализу цепи принято называть [методом узловых потенциалов](#).