

## Источники напряжения и источники тока

Прочитайте информацию ниже, ЭДС и мощность источника электроэнергии. Закон Ома для полной цепи.

**Работа (L),** совершаемая внутри электрического источника внешними силами по разделению электрических зарядов и перемещению их по цепи, называется **электродвижущей силой** – ЭДС, (символ:  $E$ ), которая измеряется в **вольтах (В)**:

$$E = \frac{L}{q} \quad (2.12)$$

Таким образом, 1 В представляет собой ЭДС, необходимую для перемещения заряда 1Кл внутри источника, для чего внешние силы совершают работу в 1 Дж (Джоуль):

$$1V = \frac{1J}{1C}$$

ЭДС ориентирована внутри источника от **полюса (-)** к **полюсу (+)** источника, поэтому ее направление совпадает с направлением тока в источнике (**смотрите рисунок 1.**)

Источник преобразует работу внешних сил в электрическую энергию. Таким образом, из соотношения (2.12) следует, что электрическая энергия источника ( $WS$ ) составит:

$$WS = L = Eq$$

С другой стороны  $I = \frac{q}{t}$ , тогда  $q = It$ , подставляя получим:

$$WS = L = Eq = EIt$$

Электрическая энергия, отдаваемая источником (**WS**), равна произведению ЭДС источника, тока, поставляемого источником, и времени работы источника.

Для простой электрической цепи (**рисунок 1**), состоящей из источника с электродвижущей силой  $E$  и внутренним сопротивлением  $r$ , питающего электрическую нагрузку  $R$ , можно записать:

$$E = U + u$$

Применяя закон Ома для каждой части цепи, представленной на **рисунке 1**:  $U = R \times I$  и  $u = r \times I$ , и, делая подстановки, получаем:

$$E = I \times (R + r)$$

Из приведенного выше уравнения мы получаем математическую формулу закона Ома для полной цепи:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

**Закон Ома для полной цепи** звучит следующим образом: Сила электрического тока, циркулирующего по замкнутой электрической цепи, прямо пропорциональна электродвижущей силе  $E$  источника и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению цепи с учетом внутреннего сопротивления источника.

Напряжение на клеммах источника в замкнутой цепи равно разности между ЭДС источника и падением напряжения на его внутреннем сопротивлении:

$$U = E - R \times I$$

Для разомкнутой цепи электрический ток равен нулю, поэтому:

$$U = E$$

При коротком замыкании сопротивление нагрузки становится равным нулю, а ток максимальным:

$I_{kz} = E / r = \text{max}$ . Ток короткого замыкания – это максимальный ток, который может обеспечить источник электроэнергии.

Энергия, отдаваемая источником в единицу времени, называется мощностью источника (**Ps**):

$$\frac{W_s}{t} = \frac{EIt}{t} = EI$$
$$Ps =$$

Единица измерения мощности **Ватт (символ: Вт)**:

Умножив обе части уравнения на ток **I** получаем:

$$EI = U \times I + U_{int} \times I; \text{ или } Ps = P + P_{int}$$

Применяя закон Ома, мы получаем, что мощность, потребляемая цепью (нагрузкой), составляет:

$$P = U \times I = I^2 \times R = \frac{U^2}{R};$$

Потери мощности на внутреннем сопротивлении источника составляют:

$$P_{int} = U_{int} \times I = I^2 \times r = \frac{U_{int}^2}{r}$$

Баланс мощности в замкнутой цепи предполагает, что выходная мощность источника равна сумме мощности, потребляемой цепью, и потерь мощности на внутреннем сопротивлении источника.

Отношение мощности, потребляемой цепью, к мощности, отдаваемой источником, называется коэффициентом полезного действия (КПД) источника ( $\eta$ ):

$$\eta = \frac{P}{P_s}$$

**Как рассчитать электроэнергию, потребляемую электрическим или электронным устройством?**

Энергия и электрическая мощность – это две величины, которые невозможно разделить. Энергия, подаваемая электрическим источником в единицу времени, называется **электрической мощностью**.

Международной стандартизированной единицей измерения энергии является Джоуль (**Дж**). Если мы говорим об электрической энергии (**Вт**), то в качестве единицы измерения используется **Ватт-час (Вт·ч)**. Один **Ватт** представляет собой расход одного Джоуля в секунду.

**[J] = [Вт·с]; W = P·t = [Вт·ч], где: W – энергия (Вт·ч); P – мощность (Вт); t – время (ч).**

Единицей измерения электрической энергии (**Вт**) для бытовых потребителей является **киловаттчас (кВт·ч)**. Поскольку **1кВт = 1000 Вт** и **1ч = 3600 секунд**, следовательно **W = 1000 Вт × 1 ч = 1000 Вт × 3600 секунд = 3600000 Джоулей (Дж)**.

Электрическая энергия имеет ряд преимуществ: ее можно преобразовать в другие виды энергии, она может быть произведена относительно дешево по сравнению с другими видами энергии, и ее можно транспортировать на большие расстояния.

Самым большим **недостатком** этой формы энергии является то, что ее нельзя хранить, поэтому если она не потребляется в момент производства, то теряется.

**Формулы энергии (W) и мощности (P):**

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

Если мы применим закон Ома, который гласит, что сила электрического тока, протекающего через цепь, прямо пропорциональна напряжению, приложенному к

этой цепи, и обратно пропорциональна сопротивлению этой цепи, и подставим в формулу энергию ( $W$ ), то получим следующие результирующие формулы:

$$I = U / R \rightarrow W = U \cdot I \cdot t = U \cdot (U / R) \cdot t = (U^2 / R) \cdot t$$

$$U = I \cdot R \rightarrow W = U \cdot I \cdot t = I \cdot R \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$$

$P = U \cdot I = U \cdot U / R = U^2 / R \rightarrow$  из этой формулы выводим, что при постоянном напряжении мощность нагрузки тем выше, чем ниже ее сопротивление.

**Энергоэффективность.** Из Формулы энергии ( $W$ ), выводим формулу мощности электрического тока ( $P$ ):

$$W = P \cdot t \rightarrow P = W / t$$

Электрический генератор характеризуется электродвижущей силой ( $E$ ) и внутренним электрическим сопротивлением ( $r$ ).

Таким образом, мощность, которую электрогенератор передает во внешнюю цепь, зависит как от внутреннего сопротивления ( $r$ ), так и от внешнего сопротивления ( $R$ ). Принимая во внимание формулу мощности, мы имеем:

$$P_{\text{генер}} = I^2 \cdot (R + r); P_{\text{внешн}} = I^2 \cdot R;$$

$$P_{\text{внутр}} = I^2 \cdot r$$

Энергоэффективность генератора относится к полезной мощности, поставляемой внешней нагрузке, и представляет собой отношение внешней мощности к полной мощности, развиваемой генератором:

$$\eta = P_{\text{внешн}} / P_{\text{генер}} \rightarrow \eta = R / (R + r)$$

Эта зависимость показывает, что энергоэффективность имеет значение меньше единицы, которое зависит от величины сопротивлений в цепи (внутреннего и внешнего). Условием оптимальной передачи мощности генератора является равенство двух сопротивлений (внутренней и внешней цепи) ( $R = r$ ).

**Тепловой эффект**, эффект **Джоуля-Ленца** – это выделение тепла проводником, по которому течет электрический ток. **Этот закон выражается следующим образом:**

Количество теплоты, которое выделяется в проводнике на участке электрической цепи с сопротивлением  $R$  при протекании по нему постоянного тока  $I$  в течение времени  $t$  равно произведению квадрата тока на сопротивление и время.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

**Где:  $Q$  – выделенное тепло,  $[Q] = J$  (Джоуль)**

$I$  – сила электрического тока  $[I] = A$  (Ампер);

$R$  – это электрическое сопротивление  $[R] = \Omega$  (Ом);

$t$  – это время  $[t] = s$  (секунды).

Тепловой эффект обусловлен взаимодействием электрических зарядов (обычно электронов) с атомами проводника, при котором первые отдают часть своей кинетической энергии вторым, способствуя увеличению теплового возбуждения в массе проводника.

**Что такое источник напряжения и источник тока?**

Источник электрической энергии – это преобразователь (электрическое устройство или машина), который может преобразовывать другие формы энергии (химическую, механическую, тепловую, солнечную, потенциальную, кинетическую) в электрическую энергию.

**Последовательное, параллельное и смешанное подключение источников электроэнергии:**

Источники электрической энергии, как и сопротивления, могут быть подключены последовательно, параллельно и смешанно, образуя батареи. При формировании батарей используются идентичные источники с одинаковой ЭДС –  $E$  и одинаковым внутренним сопротивлением –  $r$ .

## Источники напряжения и источники тока

Источник электрической энергии – это преобразователь (электрическое устройство или машина), который может преобразовывать другие формы энергии (химическую, механическую, тепловую, солнечную, потенциальную, кинетическую) в электрическую энергию.

Примеры источников электрической энергии:

- Электрический элемент или батарея – преобразует химическую энергию в электрическую;
- Фотоэлектрическая панель – преобразует солнечную энергию в электричество;
- Электрогенератор – преобразует механическую энергию в электрическую.

Источники напряжения – это устройства, создающие постоянное электрическое напряжение  $U = \text{const}$ . Батареи часто представляют в качестве источников постоянного напряжения.

Идеальный источник напряжения способен создавать постоянную разность потенциалов между своими клеммами, независимо от протекающего через него тока (см. **рисунок 2 б**).

Уравнение, характеризующее идеальный источник напряжения, имеет вид:

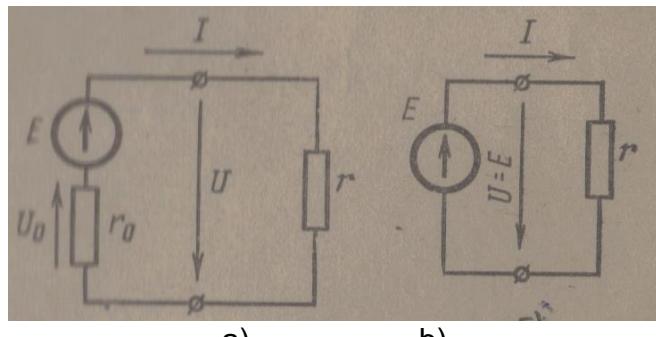
Где:  $E$  – электродвижущая сила источника.

Реальные источники напряжения ведут себя иначе, чем идеальные, поэтому напряжение на их клеммах имеет максимальное значение при отсутствии нагрузки (протекающий ток равен нулю) и уменьшается по мере увеличения тока, подаваемого источником. В большинстве случаев зависимость напряжения от тока является линейной и определяется соотношением:

$$U = E - rI$$

Где:  $E$  – напряжение на клеммах источника в разомкнутой цепи, а  $r$  – внутреннее сопротивление источника.

Реальный источник напряжения можно смоделировать как идеальный источник напряжения последовательно соединенный с его внутренним сопротивлением  $r_0$  (см. **рисунок 2 а**).



**Рисунок 2 - Эквивалентная схема источника напряжения:**

а) реальный источник; б) идеальный источник

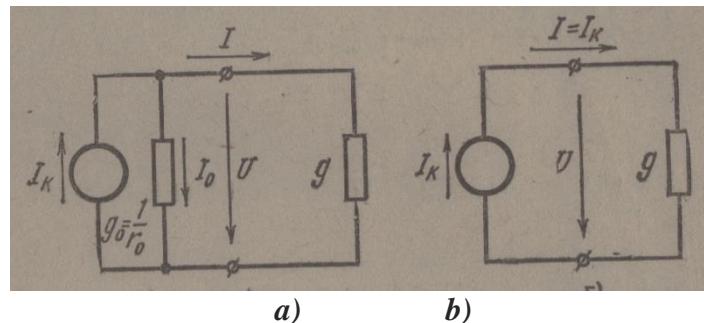
Когда источник напряжения подключается к другому пассивному элементу, образуется цепь, по которой течет ток  $I$ . Ток, который подает источник, зависит от элементов, которые он питает:

- источник напряжения можно оставить в разомкнутой цепи, т.е. без подключения к его клеммам. В этом случае ток  $I$ , который он подает, равен нулю, поэтому мощность ( $P = UI$ ), которую он потребляет, равна нулю;

- клеммы идеального источника напряжения не могут быть замкнуты накоротко, поскольку такая ситуация соответствует отмене напряжения генератора при представленном источнике напряжения:  $U = E$ , и можно представить короткое замыкание:  $U = 0$ ;

- два источника напряжения могут быть соединены параллельно, только если их электродвижущие силы равны  $E_1 = E_2$ .

Источники тока вырабатывают постоянный ток. При подключении источника тока к другому пассивному элементу образуется цепь, по которой течет ток  $I = \text{const}$  (**рисунок 3**). Идеальный источник тока выдает ток, сила которого не зависит от напряжения на его клеммах.



*Рисунок 3 - Эквивалентная схема источника тока:  
a) реальный источник; b) идеальный источник*

Разность потенциалов  $U$  между его клеммами зависит от элемента, питающего источник:

- два источника тока могут быть соединены последовательно, если они имеют одинаковое значение выдаваемого тока  $I_1 = I_2$ ;
- в случае источника тока его клеммы могут быть соединены вместе. В этом случае, поскольку напряжение между его клеммами равно нулю, следовательно, и мощность, которую он отдает, также равна нулю;
- источник тока никогда нельзя оставлять в разомкнутой цепи, так как это было бы эквивалентно отмене тока, который он подает. Всегда должна существовать цепь, по которой течет ток; потому что источник тока требует  $I(t) = \text{const}$ , а разомкнутая цепь требует  $I = 0$ ;

## Приложение 5

### Последовательное подключение источников.

Последовательное подключение источников осуществляется в том же направлении, как показано на **рисунке 4**. Начиная с  $E_1, E_2 \dots E_n$  - ЭДС, с  $r_1, r_2, \dots r_n$  - их внутренними сопротивлениями, а  $I$  - ток, текущий через них, применяя вторую теорему Кирхгофа получаем напряжение между клеммами АВ:

$$U_{AB} = E - R \cdot I = E_1 + E_2 + \dots + E_n - I \cdot (r_1 + r_2 + \dots + r_n).$$

Заменим группу из  $n$  последовательно соединенных источников одним эквивалентным источником, имеющим ЭДС -  $E_e$  и эквивалентное внутреннее сопротивление -  $r_e$ , так, чтобы при протекании одного и того же тока  $I$  на клеммах поддерживалось одно и то же напряжение -  $U_{AB}$ . В этом случае напряжение на клеммах эквивалентного источника будет:

$$U_{AB} = E_e - r_e \cdot I; \text{ где: } E_e = E_1 + E_2 + \dots + E_n; \text{ и } r_e = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

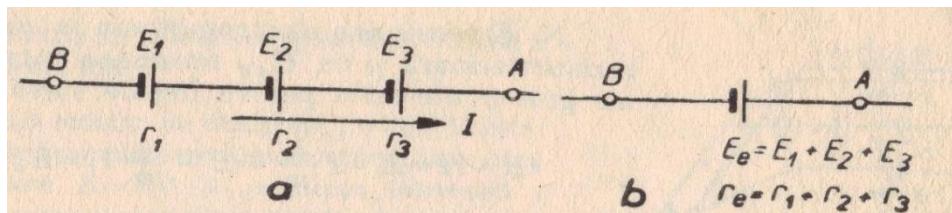


Рисунок 4 - Последовательное соединение источников:  
а) схема подключения; б) преобразованная схема

Последовательно соединенные источники могут быть заменены одним источником, эквивалентным ЭДС, равным сумме ЭДС соединенных источников и с внутренним сопротивлением, равным сумме внутренних сопротивлений источников.

**Примечание:** В случае идентичных источников, с  $E = E_1 = E_2 = \dots = E_n$  и  $r = r_1 = r_2 = \dots = r_n$ , ЭДС батареи последовательно соединенных источников будет  $E_e = n \cdot E$ , а внутреннее сопротивление батареи составит:

$$r_e = n \cdot r.$$

Последовательное соединение источников используется для увеличения ЭДС батареи в  $n$  раз, но это также увеличивает внутреннее сопротивление батареи в  $n$  раз.

Параллельное подключение источников. При формировании батареи из электрических источников используются идентичные источники с равными ЭДС  $E = E_1 = E_2 = \dots = E_m$  и равными внутренними сопротивлениями  $r = r_1 = r_2 = \dots = r_m$ , подключенные в  $m$  параллельных ветвях к двум общим клеммам А и В ( **рисунок 5** ).

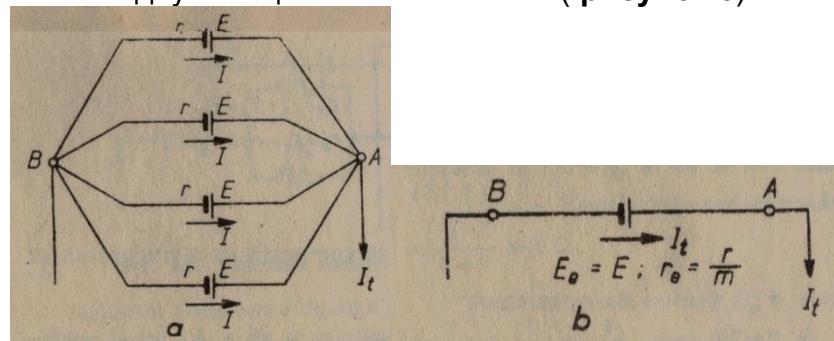


Рисунок 5 - Параллельное подключение источников:  
а) схема подключения; б) преобразованная схема

Если каждый источник выдает ток  $I_0$ , то общий ток  $I$ , протекающий через батарею,

будет  $I = m \cdot I_0$ ; внутреннее сопротивление батареи будет  $r_e = \frac{r}{m}$ ; эквивалентная ЭДС батареи будет равна **ЭДС** источников  $E_e = E$ ; напряжение на клеммах **AB** батареи будет:

$$U_{AB} = E - I \cdot r_e = E - I \cdot \frac{r}{m}$$

Параллельное соединение не изменяет эквивалентную ЭДС, но уменьшает внутреннее сопротивление батареи в  $m$  раз.

Параллельное соединение используется для увеличения общего тока, выдаваемого батареей, в  $m$  раз и одновременного уменьшения внутреннего сопротивления батареи в  $m$  раз.

### Смешанное соединение источников

При смешанном связывании идентичные источники с ЭДС  $E = E_1 = E_2 = \dots = E_n$ , соединены в  $m$  параллельных ветвях по  $n$  источников, соединенных последовательно в каждой ветви (см. **рисунок 6**).

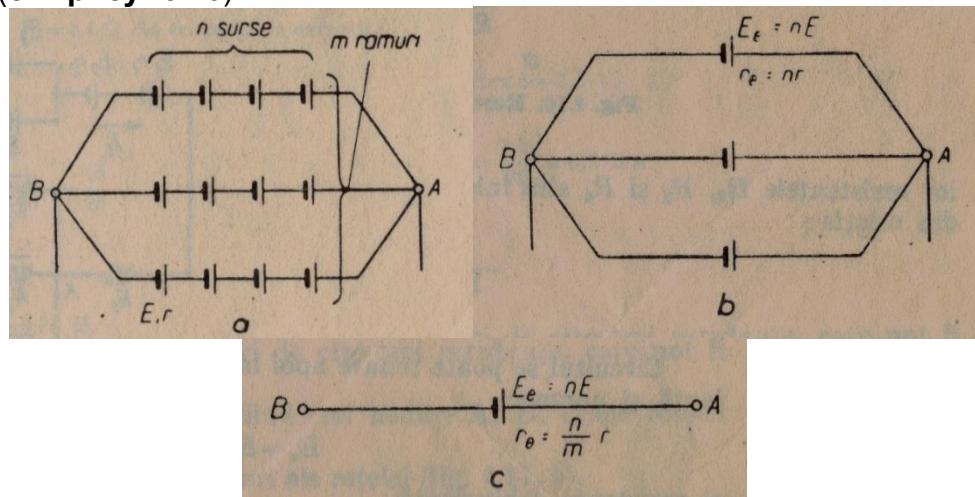


Рисунок 5 - Смешанное подключение источников:  
а) схема подключения; б) и с) преобразованные схемы

Эквивалентная ЭДС  $n$  источников, включенных последовательно в ветви, будет  $E_b = n \cdot E$ , а их эквивалентное внутреннее сопротивление будет  $r_e = n \cdot r$ . С учетом того, что батарея содержит  $m$ , получаются такие ветви:

- **ЭДС** батареи будет  $E_b = n \cdot E$ , что равно произведению ЭДС тех  $n$  последовательно соединенных источников из ветвей;

- эквивалентное внутреннее сопротивление батареи составит:

$$r_b = \frac{n}{m} r$$

Смешанное соединение используется для получения батарей с высокой **ЭДС** и высоким током одновременно.