

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 1 Кл внутри источника, для чего внешние силы совершают работу в 1 Дж (Джоуль):

$$1\text{В} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{Кл}}$$

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:

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

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

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

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 (η):

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

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 **киловатт·час (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**] = Ω (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;

-Электродвигатель – 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:

$$U = E - r I$$

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**).

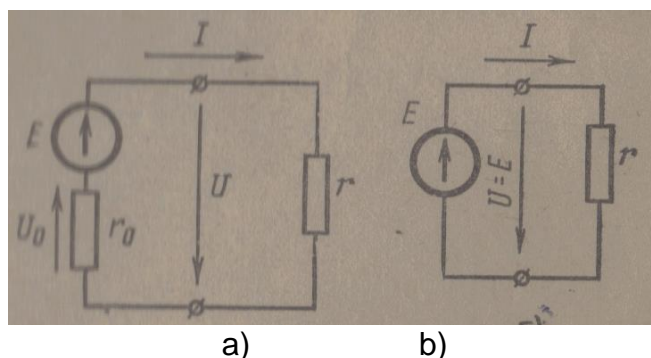


Рисунок 2 - Эквивалентная схема источника напряжения:

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.

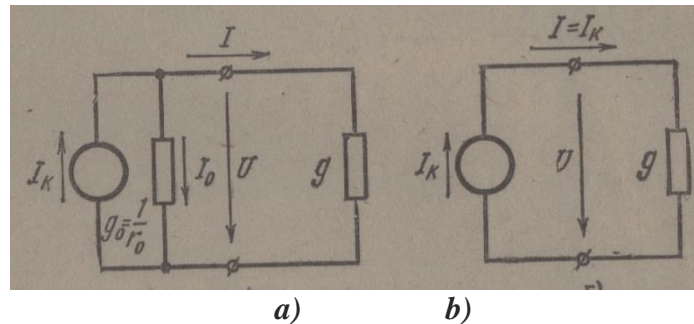


Рисунок 3 - Эквивалентная схема источника тока:
a) реальный источник; b) идеальный источник

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:

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

Заменяем 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:

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

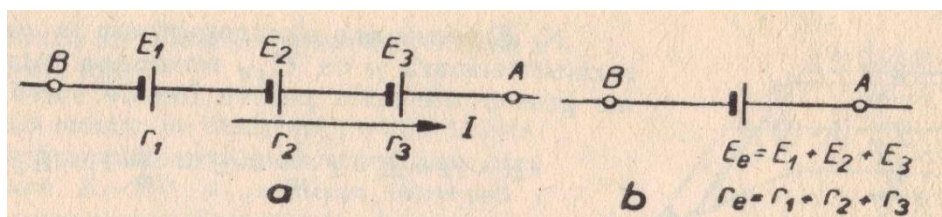


Рисунок 4 - Последовательное соединение источников:

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**).

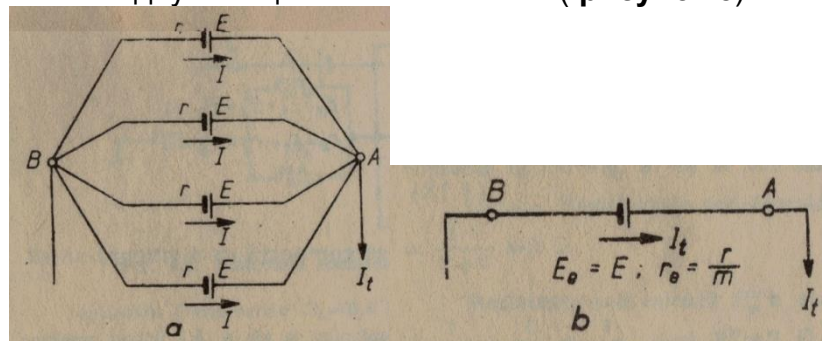


Рисунок 5 - Параллельное подключение источников:

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 АВ 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).

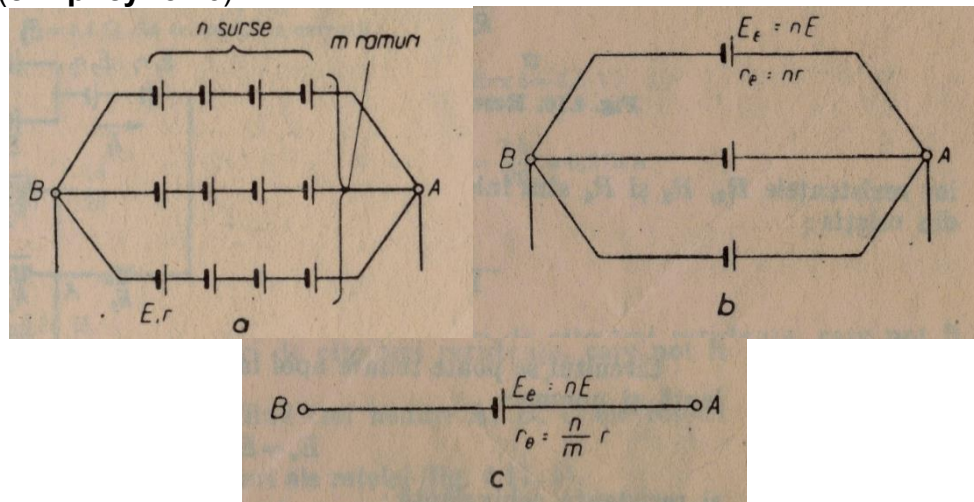


Рисунок 5 - Смешанное подключение источников:
а) схема подключения; б) и в) преобразованные схемы

Эквивалентная ЭДС n источников, включенных последовательно в ветви, будет $E_6 = n \cdot E$, а их эквивалентное внутреннее сопротивление будет $r_e = n \cdot r$. С учетом того, что батарея содержит m , получаются такие ветви:

- ЭДС батареи будет $E_6 = n \cdot E$, что равно произведению ЭДС тех n последовательно соединенных источников из ветвей;
- эквивалентное внутреннее сопротивление батареи составит:

$$r_6 = \frac{n}{m} r$$

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