

Тема: Электрические цепи постоянного тока

Преподаватель - Семко М.С.
Студент - Бибик М.Ю.

1 Электрические цепи постоянного тока

1.1 Элементы электрических цепей постоянного тока

- **Электрические схемы** – это чертежи, на которых показано, как электрические приборы соединены в цепь.
- **Электрическая цепь** - совокупность устройств, предназначенных для передачи, распределения и взаимного преобразования энергии.
- Основными элементами электрической цепи являются источники и приемники электрической энергии, которые соединены между собой проводниками.
- В источниках электрической энергии химическая, механическая, тепловая энергия или энергия других видов превращается в электрическую.
- В приемниках электрической энергии - электрическая энергия преобразуется в тепловую, световую, механическую и другие.
- Электрические цепи, в которых получение энергии, передача и преобразование происходят при неизменных во времени токах и напряжениях называют цепями постоянного тока.

Изображение электрической цепи с помощью условных знаков называют электрической схемой (рисунок 1)



Рисунок 1 — Условное обозначение электрической цепи

Электрическая цепь состоит из отдельных устройств или элементов, которые по их назначению можно разделить на 3 группы.

Первую группу составляют элементы, предназначенные для выработки электроэнергии (источники питания).

Вторая группа — элементы, преобразующие электроэнергию в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую, химическую и т. д.).

В третью группу входят элементы, предназначенные для передачи электроэнергии от источника питания к электроприемнику (провода, устройства, обеспечивающие уровень и качество напряжения, и др.).

1.2 Источники энергии

1.2.1 Источники ЭДС

Источник ЭДС характеризуется величиной ЭДС равной напряжению (разности потенциалов) на зажимах при отсутствии тока через источник. ЭДС определяют как работу сторонних сил, присущих источнику, на перемещение единичного положительного заряда внутри источника от зажима с меньшим потенциалом к зажиму с большим потенциалом.

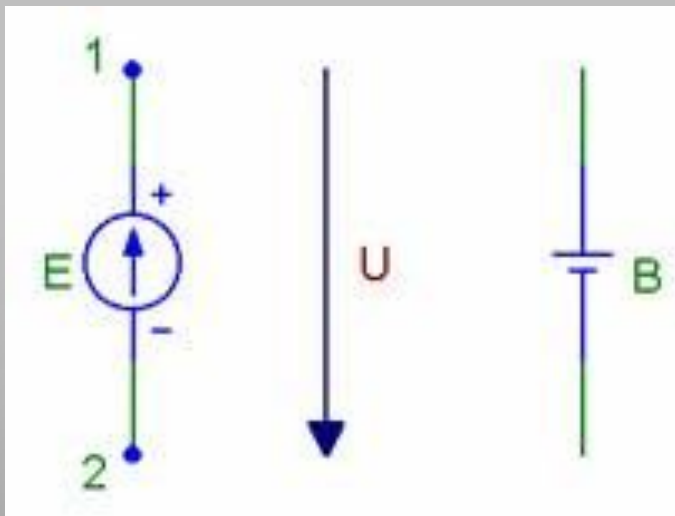


Рисунок 1.1 - Обозначения источника ЭДС и гальванического элемента в схемах

- Источники питания цепи постоянного тока — это гальванические элементы, электрические аккумуляторы, электромеханические генераторы, термоэлектрические генераторы, фотоэлементы и др. Все источники питания имеют внутреннее сопротивление, значение которого невелико по сравнению с сопротивлением других элементов электрической цепи.
- Электроприемниками постоянного тока являются электродвигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую, нагревательные и осветительные приборы и др.
- Все электроприемники характеризуются электрическими параметрами, среди которых можно назвать самые основные — напряжение и мощность.
- Для нормальной работы электроприемника на его зажимах (клеммах) необходимо поддерживать номинальное напряжение. Для приемников постоянного тока оно составляет 27, 110, 220, 440 В, а также 6, 12, 24, 36 В.

- Напряжение на зажимах реального источника зависит от тока через источник. Если этой зависимостью можно пренебречь, то такой источник называют идеальным.
- На расчетных схемах обязательно нужно указывать направления напряжений и токов (выбираются произвольно).

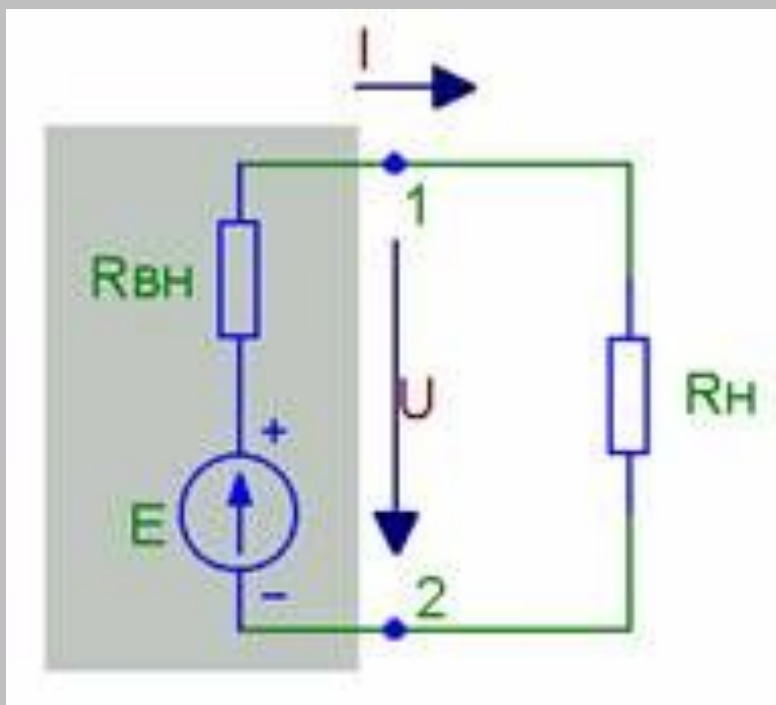


Рисунок 1.2 - Схема с реальным источником ЭДС

Для реальных источников запишем закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{E}{R_{\text{вн}} + R_{\text{н}}} \quad , \quad U = I \cdot R_{\text{н}} \quad (1.1)$$

где I - ток [А], E - ЭДС [В], R - сопротивление [Ом].

Отсюда следует:

$$U = E - I \times R_{\text{вн}} \quad (1.2)$$

Напряжение U на зажимах реального источника меньше ЭДС на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении. Идеальный источник имеет $R_{\text{вн}} = 0$.

Максимальный ток возникает в режиме короткого замыкания при $R_{\text{н}} = 0$, при этом выходное напряжение U стремится также к нулю.

1.2.2 Источник тока

Источник тока характеризуется током I при короткозамкнутых зажимах (при отсутствии напряжения). Если ток не зависит от напряжения - такой источник называют идеальным.

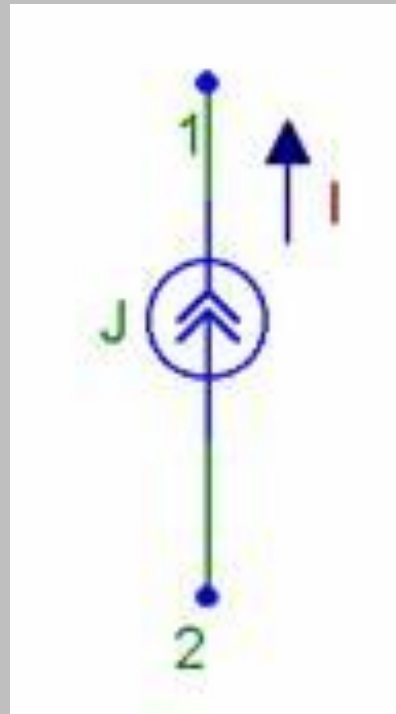


Рисунок 1.3 - Изображение источника тока в схемах

Ток I реального источника энергии зависит от напряжения U на его зажимах. Из закона Ома для полной цепи:

$$I = \frac{E}{R_{\text{вн}} + R_{\text{н}}} \quad (1.3)$$

где $g_{\text{вн}}$ - проводимость $[Cм]$.

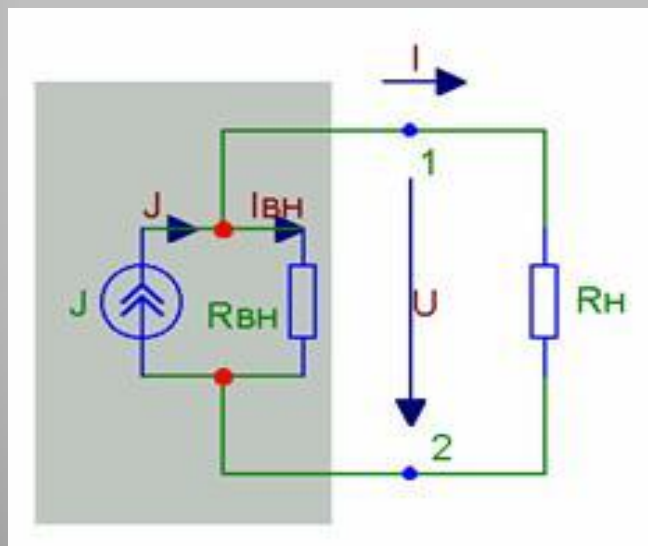


Рисунок 1.4 - Схема с реальным источником тока

В этой схеме элемент $g_{\text{вн}}$ параллельно соединенный с идеальным источником J , называют внутренней проводимостью. Идеальный источник тока имеет $g_{\text{вн}} = 0$ (то есть $R_{\text{вн}} = \infty$).

1.2.3 Электрическая мощность

Характеризует энергию, генерируемую источником в единицу времени. Для реального источника напряжения:

$$P = E \times I \text{ [Вт]} \quad (1.4)$$

Для реального источника тока:

$$P = I \times E \text{ [Вт]} \quad (1.5)$$

Сопротивление нагрузки R_n характеризует потребление электрической энергии, то есть превращение ее в другие виды при мощности, определяемой по формуле:

$$P = I^2 \times R_n \text{ [Вт]} \quad (1.6)$$

1.3 Обобщенный закон Ома для участка цепи с ЭДС

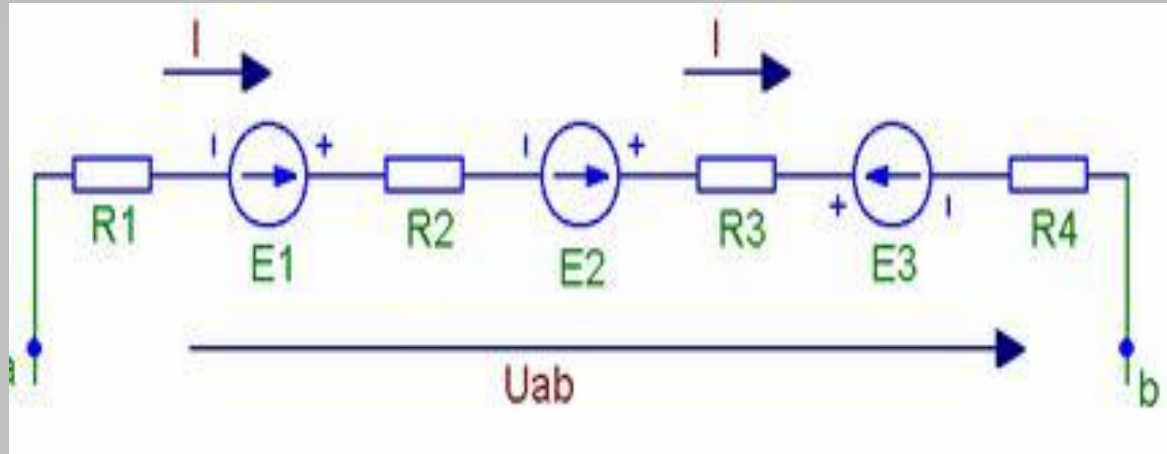
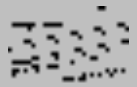
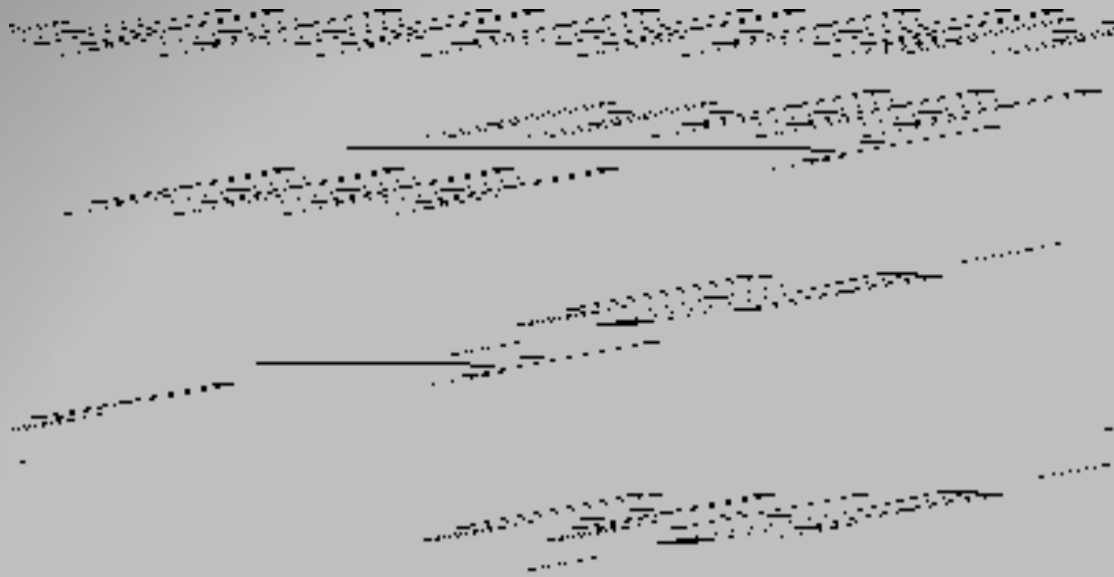


Рисунок 1.5 - Неразветвленная цепь с источниками ЭДС

-  - направление от точки с высоким потенциалом в точку с более низким потенциалом;
-  - направление тока.



(1.7)

где: R_{Σ} - суммарное сопротивление участка схемы;

U - напряжение между выводами рассматриваемого участка;

$\sum E$ - алгебраическая сумма ЭДС действующих на данном

участке. Если ЭДС совпадает по направлению с током, то ставится знак $<+>$, если не совпадает - $<->$.

Вывод: ток участка цепи с источниками ЭДС равен алгебраической сумме его напряжения и ЭДС, деленной на сопротивление участка.

1.4 Простейшие преобразования в электрических цепях

1.4.1 Последовательное соединение сопротивлений

Ток идущий в цепи одинаков в любой точке.

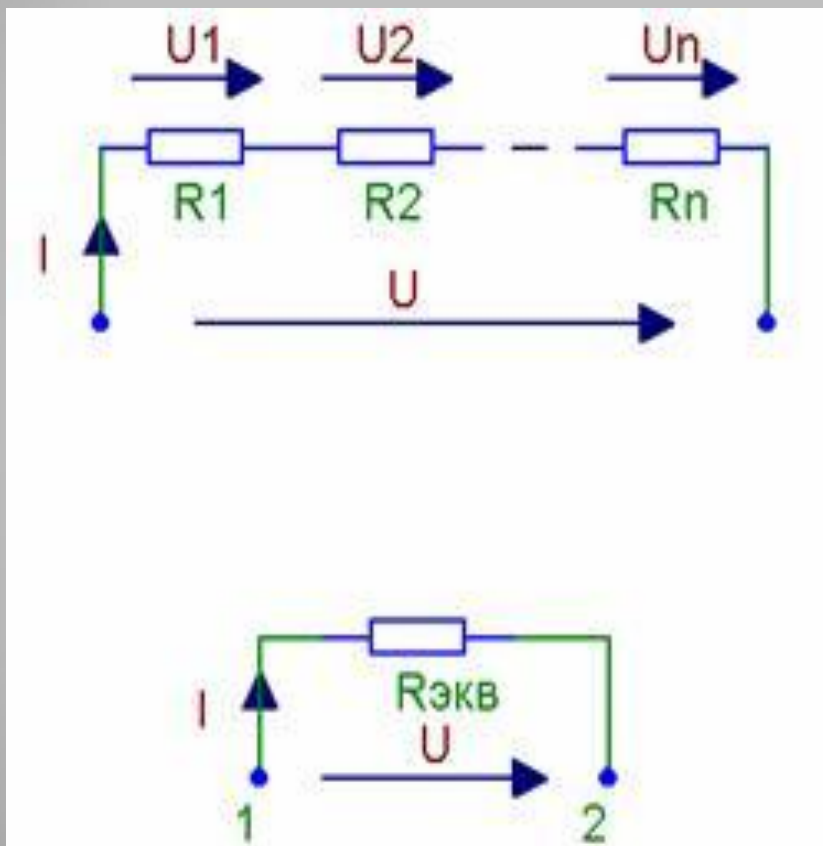
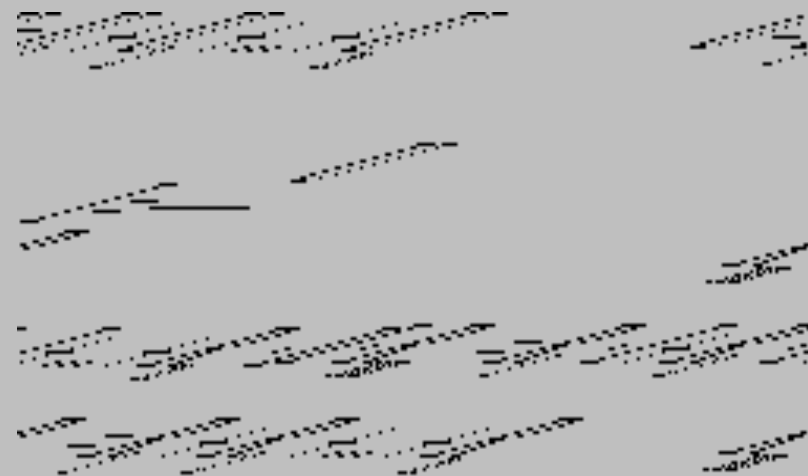
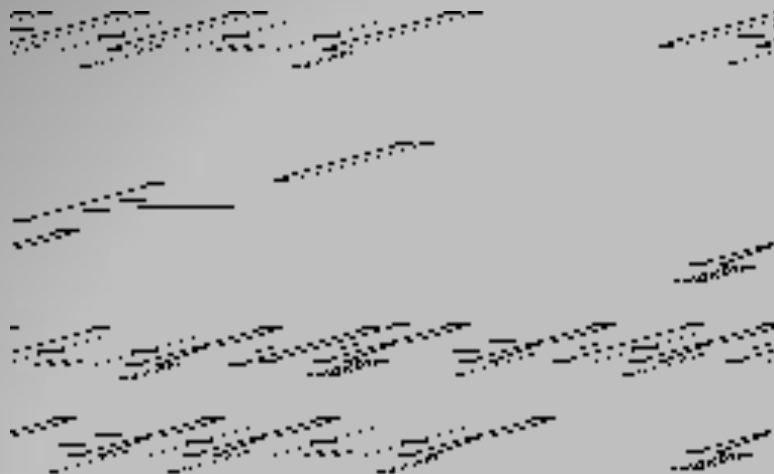


Рисунок 1.6 - Эквивалентное сопротивление при последовательном соединении сопротивлений





(1.8)

Эквивалентное сопротивление последовательно соединенных элементов цепи равно сумме сопротивлений отдельных элементов.

1.4.2 Параллельное соединение сопротивлений

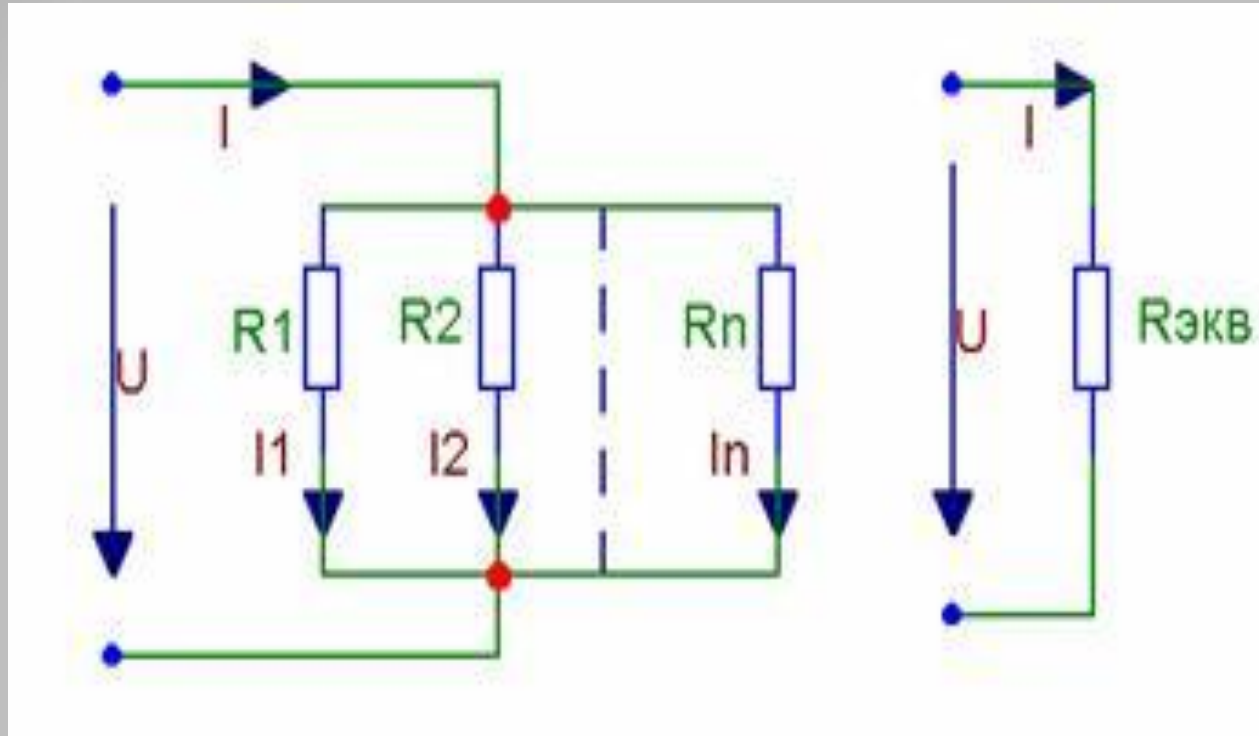


Рисунок 1.7 - Параллельное соединение сопротивлений

Значения токов в цепи определяются следующим образом:

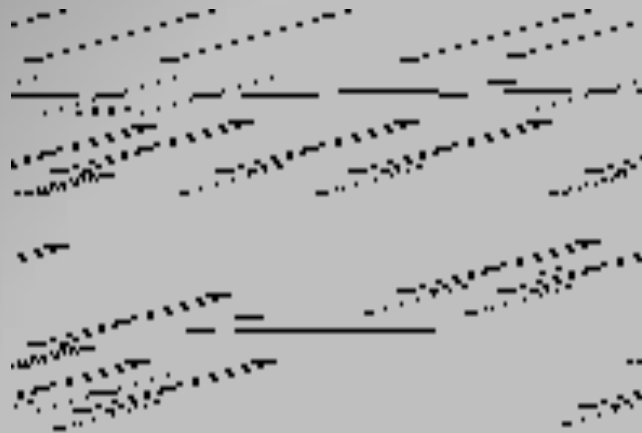
$$\begin{aligned} & \vec{I}_1 = \frac{\vec{U}_1}{Z_1} = \frac{U_1}{Z_1} \angle \varphi_1 \\ & \vec{I}_2 = \frac{\vec{U}_2}{Z_2} = \frac{U_2}{Z_2} \angle \varphi_2 \\ & \vec{I}_3 = \frac{\vec{U}_3}{Z_3} = \frac{U_3}{Z_3} \angle \varphi_3 \end{aligned}$$

(1.9)

$$\begin{aligned} & \vec{I}_4 = \frac{\vec{U}_4}{Z_4} = \frac{U_4}{Z_4} \angle \varphi_4 \\ & \vec{I}_5 = \frac{\vec{U}_5}{Z_5} = \frac{U_5}{Z_5} \angle \varphi_5 \\ & \vec{I}_6 = \frac{\vec{U}_6}{Z_6} = \frac{U_6}{Z_6} \angle \varphi_6 \end{aligned}$$

(1.10)

Для эквивалентного сопротивления запишем формулу:



(1.11)

Эквивалентное сопротивление цепи, состоящей из параллельных составляющих, всегда меньше меньшего из сопротивлений цепи.

Следовательно, при параллельном соединении эквивалентная проводимость цепи равна сумме проводимостей отдельных ветвей.

1.4.3 Замена источника тока источником ЭДС

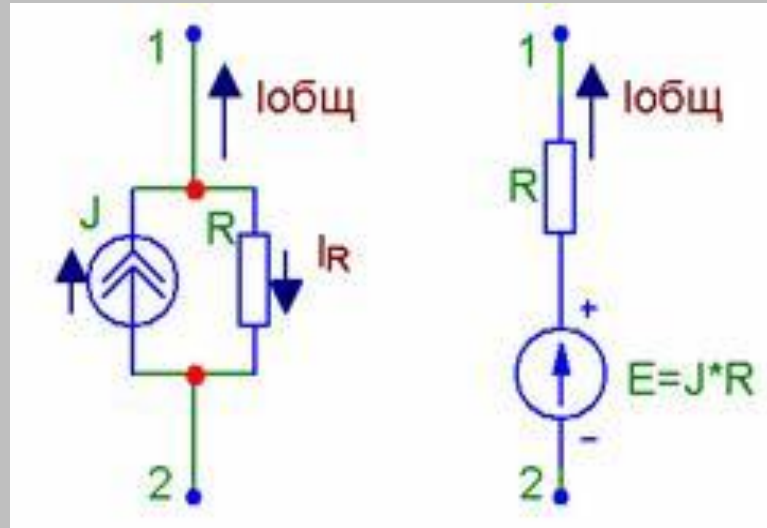


Рисунок 1.8 - Замена источника тока источником ЭДС

Баланс мощности различается в этих схемах, поскольку через сопротивление R течет разный ток.

Результат решения задачи всегда должен приводиться к исходной схеме.

Для схемы с источником тока справедливо следующее соотношение:

$$J - I_{\text{общ}} - I_R = 0 \quad (1.12)$$

1.5 Подключение измерительных приборов к электрическим цепям

Прежде чем производить измерения в электрических цепях нужно определиться со следующими вопросами, исходя из ответа на которые, выбирается измерительный прибор:

- постоянный или переменный ток присутствует в данной электрической цепи. Если переменный - то какой именно (форма сигнала, частота);
- какого порядка токи и напряжения имеются в данной цепи;
- какая погрешность измерения будет нас удовлетворять.

1.5.1 Измерение напряжений

Для измерения падения напряжения на каком либо участке цепи, параллельно ему подключают вольтметр с учетом полярности.

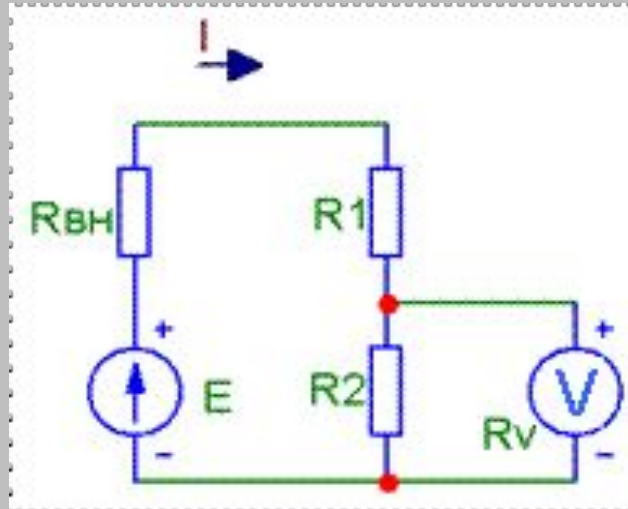
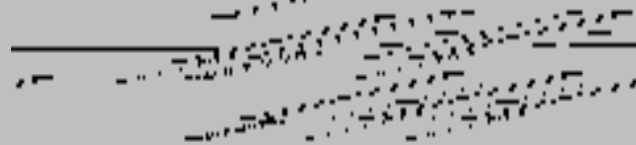


Рисунок 1.9 - Измерение падения напряжения на R_2 вольтметром

Вольтметр обладает некоторым внутренним сопротивлением R_v , следовательно, во время работы часть тока из электрической цепи пойдет через вольтметр, тем самым режим электрической цепи при подключении вольтметра изменится. Значит, результат измерения будет содержать погрешность.

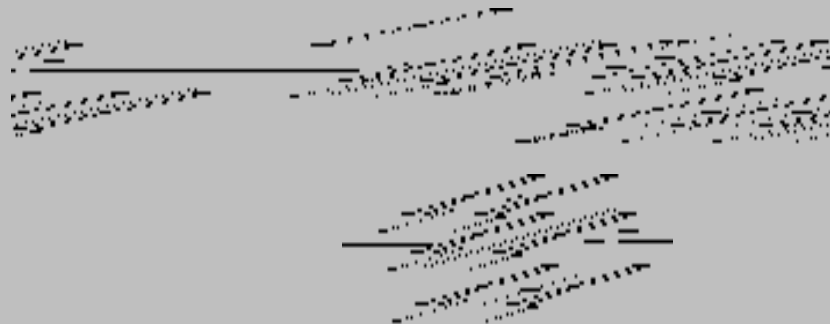
Напряжение на R_2 , цепи, состоящей из источника и последовательно соединенных сопротивлений R_1 и R_2 без вольтметра:



(1.13)

где $R_{\text{вн}}$ - внутреннее сопротивление источника.

Напряжение на R_2 , цепи, состоящей из источника и последовательно соединенных сопротивлений R_1 и R_2 с вольтметром:



(1.14)

Если $R_{\text{вн}} \ll R_1 + R_2$, то $R_{\text{вн}} \approx 0$

Для того чтобы вольтметр не влиял на исследуемую цепь, стараются делать внутреннее сопротивление вольтметра как можно большим.

1.5.2 Измерение токов

Для измерения величины тока, протекающего через некоторый элемент цепи, последовательно с ним в разрыв ветви включают амперметр, с учетом полярности. Так как амперметр имеет некоторое сопротивление R_A , включение его в электрическую цепь изменяет его режим, и результат измерения содержит погрешность.

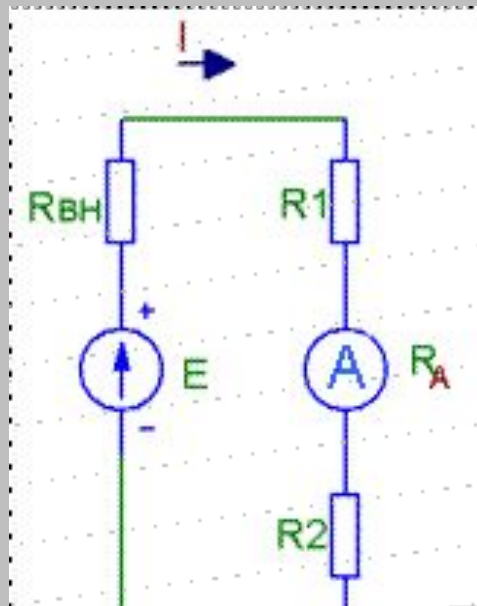
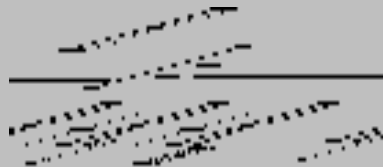


Рисунок 1.10 - Измерение тока амперметром

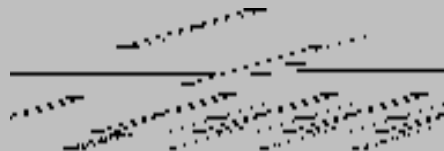
Сила тока в цепи, состоящей из источника и последовательно соединенных сопротивлений R_1 и R_2 без амперметра:



(1.15)

где $R_{вн}$ - внутреннее сопротивление источника.

Сила тока в цепи, состоящей из источника и последовательно соединенных сопротивлений R_1 и R_2 с амперметром:



(1.16)

Где $R_{вн}$ - внутреннее сопротивление источника;
 R_A - сопротивление амперметра.

Для уменьшения погрешностей стараются делать сопротивления амперметров как можно меньшим.

1.5.3 Измерение мощностей

Для измерения мощности, потребляемой каким либо элементом цепи, необходимо, чтобы измерительный прибор измерял падение напряжения на нем и ток через него и перемножал эти значения. Ваттметры имеют четыре входных зажима - два токовых и два по напряжению.

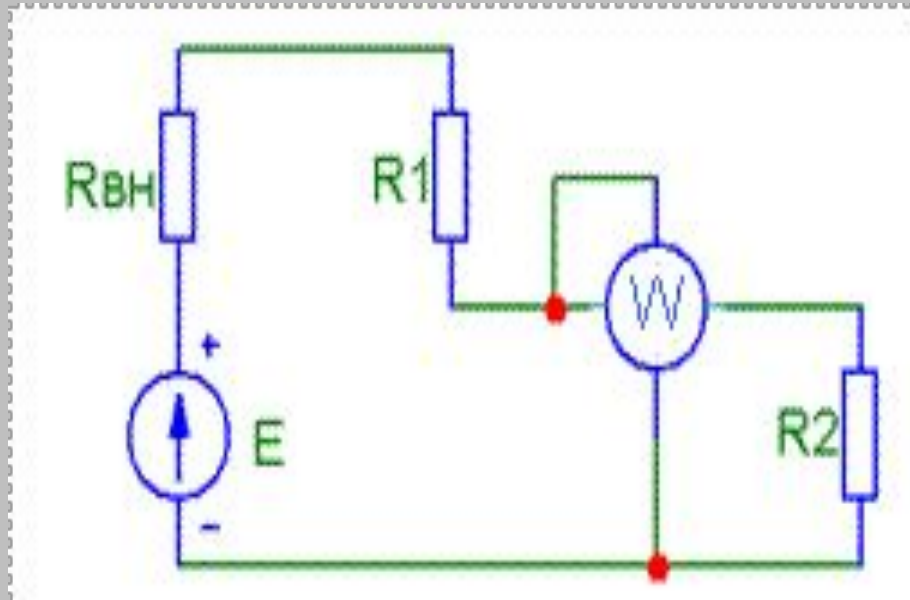


Рисунок 1.11 -Схема включения ваттметра для измерения мощности, потребляемой R_2 .

1.5.4 Мостовые схемы

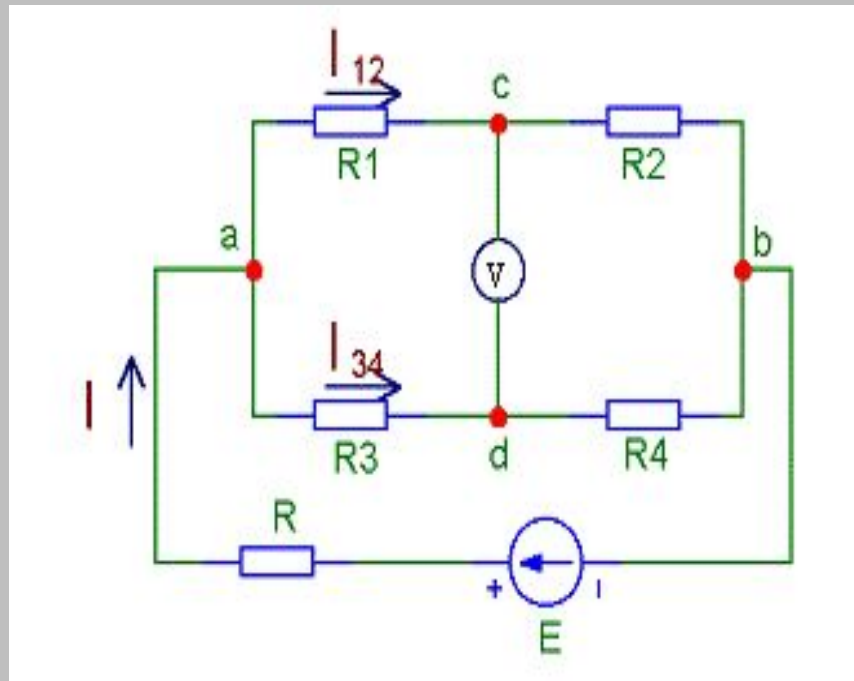
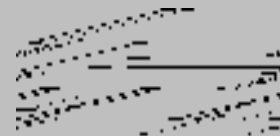
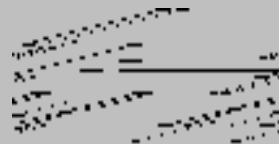
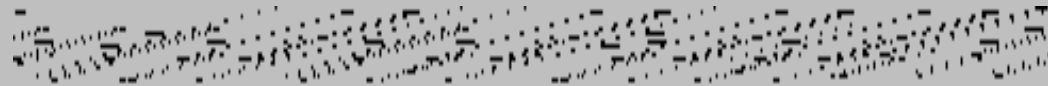
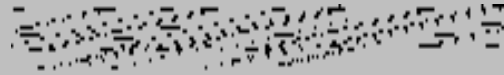
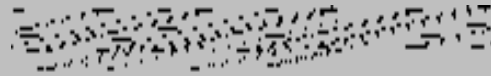


Рисунок 1.25 - Мост Уитстона

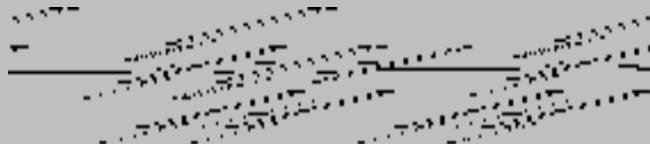
Мостовые схемы применяются для измерения сопротивлений.

ac, cb, ad, bd - плечи моста.

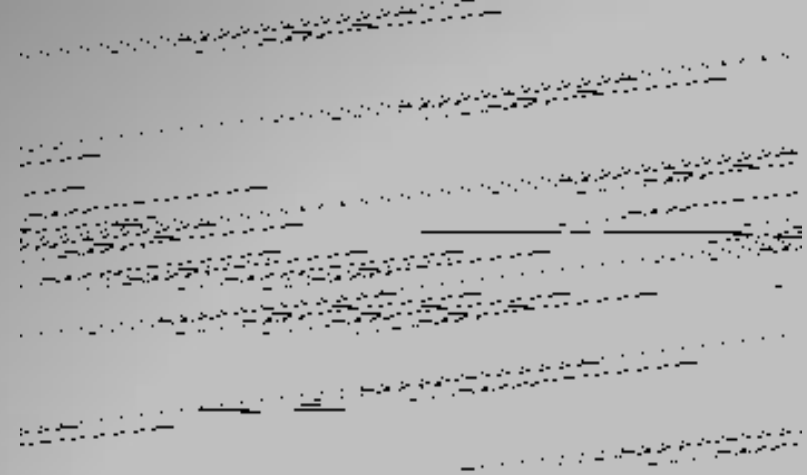
ab, cd - диагонали моста.



Для упрощения расчетов принимаем сопротивление вольтметра равным бесконечности.



- баланс моста (уравновешивание)



(1.45)

Для измерения сопротивления уравновешенным мостом в одно из его плеч включают неизвестное сопротивление. Подстраивая какое-либо другое из плеч, с помощью известных сопротивлений, добиваются баланса моста (т.е. когда вольтметр показывает нуль). После этого находят неизвестное сопротивление. Для питания моста величина ЭДС E существенного значения не имеет. Важно, чтобы не было ощутимого нагрева сопротивлений, и была бы достаточная чувствительность вольтметра. Сопротивление измерительного прибора также значения не имеет, т.к. в уравновешенном состоянии разность потенциалов точек c и d равна нулю, следовательно, ток через вольтметр не течет.

Используются также неуравновешенные мосты, в них не выполняют подстраивание плеч, а величину неизвестного сопротивления отсчитывают по показаниям измерительного прибора со специально отградуированной шкалой. При измерении неуравновешенным мостом требуется стабилизировать ЭДС E .

1.5.5 Компенсационный метод измерения

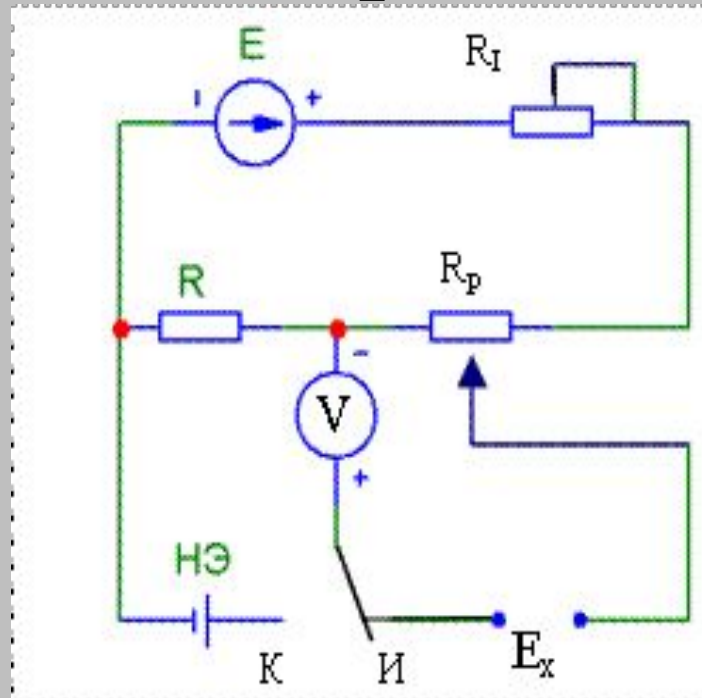
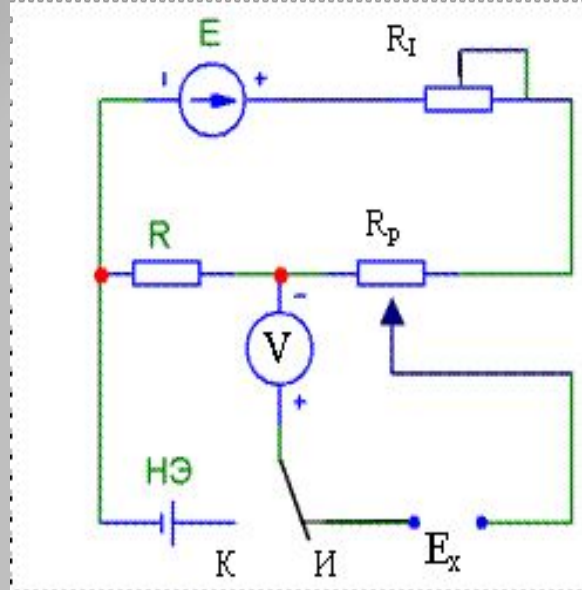


Рисунок 1.26 - Потенциометр

С помощью потенциометров измеряют величину ЭДС. Потенциометр устроен таким образом, что при измерении величины ЭДС E_x входной ток отсутствует.



Перед работой производят калибровку прибора: для этого переводят переключатель в положение $\langle K \rangle$. С помощью R_I подстраивают рабочий ток в схеме так, чтобы падение напряжения на сопротивлении R равнялось бы величине ЭДС нормального элемента $HЭ$. При этом вольтметр должен показывать нуль. Для измерения ЭДС E_x переключатель переводят в положение $\langle I \rangle$, с помощью отградуированного движка реохорда R_p добиваются, чтобы вольтметр показывал нуль, и считывают показания прибора.

Примечания, дополнения

- Участок электроцепи, вдоль которого протекает один и тот же ток, называется ветвью. Место соединения ветвей электроцепи называется узлом. На электросхемах узел обозначается точкой.
- Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называется контуром электрической цепи. Простейшая электрическая цепь имеет **одноконтурную** схему, сложные электрические цепи — **несколько контуров**.
- Согласованный режим источника питания и внешней цепи возникает в том случае, когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению. В этом случае ток в цепи в 2 раза меньше тока короткого замыкания.
- Самыми распространенными и простыми типами соединений в электрической цепи являются **последовательное** и **параллельное** соединение.

- Элементами электрической цепи являются различные электротехнические устройства, которые могут работать в различных режимах. Режимы работы как отдельных элементов, так и всей электрической цепи характеризуются значениями тока и напряжения. Поскольку ток и напряжение в общем случае могут принимать любые значения, то режимов может быть бесчисленное множество.
- **Режим холостого хода** — это режим, при котором тока в цепи нет. Такая ситуация может возникнуть при разрыве цепи. Номинальный режим бывает, когда источник питания или любой другой элемент цепи работает при значениях тока, напряжения и мощности, указанных в паспорте данного электротехнического устройства. Эти значения соответствуют самым оптимальным условиям работы устройства с точки зрения экономичности, надежности, долговечности и пр.
- **Режим короткого замыкания** — это режим, когда сопротивление приемника равно нулю, что соответствует соединению положительного и отрицательного зажимов источника питания с нулевым сопротивлением. Ток короткого замыкания может достигать больших значений, во много раз превышая номинальный ток. Поэтому режим короткого замыкания для большинства электроустановок является аварийным.