

# Введение

В зависимости от назначения конкретной системы приходится сталкиваться с различными видами устройств обработки, так же как и с различными видами самих сигналов.

Различают аналоговые сигналы (непрерывные и импульсные), дискретные сигналы и цифровые сигналы.

Соответственно различают аналоговую, дискретную и цифровую обработку сигналов. Возможна комбинация различных видов обработки: аналого-дискретная, аналого-цифровая, дискретно-цифровая.

Следовательно, вид обработки определяется видом входного и выходного сигналов.

В настоящем курсе *преимущественно* рассматриваются вопросы теории и техники **аналоговой обработки сигналов**. Основное внимание в конспекте лекций уделено изложению принципов действия, свойств и характеристик как элементарных электронных приборов (диодов, транзисторов, микросхем и т.п.), так и электронных устройств и средств, их использующих.

**Схемотехника-** научно-техническое направление, занимающееся проектированием, созданием и отладкой электронных схем и устройств различного назначения.

**Системотехника-** проектирование, конструирование и приведение в действие сложных групп связанных компонентов, которые должны работать совместно в заданных условиях и объединены некоторым типом взаимодействия или взаимозависимости с целью образовать самосогласованное и интегральное целое.

**Электроника** – отрасль науки и техники, изучающая законы взаимодействия электронов и других заряженных частиц с электромагнитными полями и разрабатывающая методы создания электронных приборов, в которых это взаимодействие используется для преобразования электромагнитной энергии с целью передачи, обработки и хранения информации, автоматизации производственных процессов, создания аппаратуры, устройств и средств контроля, измерения и управления.

С точки зрения применения электронных приборов и устройств в настоящее время наибольшее развитие и распространение получила техническая электроника: аналоговая и цифровая.

# Основные направления электроники



# Параметры электрической цепи

*Электрической цепью* называют совокупность тел и сред, образующих замкнутые пути для протекания электрического тока.

Обычно физические объекты и среду, в которой протекает электрический ток, упрощают до условных элементов и связей между ними. Тогда определение цепи можно сформулировать как совокупность различных элементов, объединенных друг с другом соединениями или связями, по которым может протекать электрический ток.

Элементами электрической цепи являются источники электрической энергии, активные и реактивные сопротивления.

Связи в электрической цепи изображаются линиями и по смыслу соответствуют идеальным проводникам с нулевым сопротивлением.

Связи цепи, наряду с элементами, определяют ее свойства и для одних и тех же элементов можно создать множество различных электрических цепей различающихся только связями.

Связи элементов электрической цепи обладают топологическими свойствами, т.е. они не изменяются при любых преобразованиях, производимых без разрыва связей. Пример такого преобразования показан на рис. 1.1.

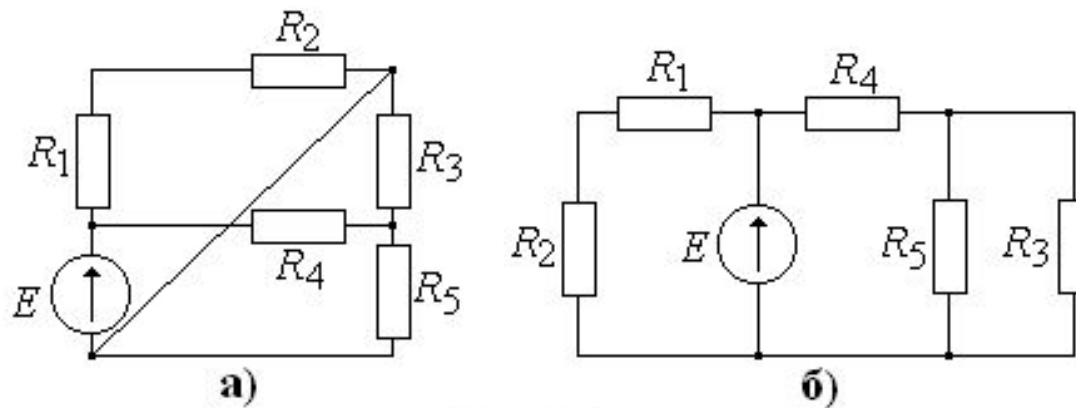


Рис. 1.1

Возможность взаимно однозначного преобразования электрической цепи позволяет использовать его до начала анализа для приведения схемы к наиболее простому и легко воспринимаемому виду. Так схема на рис. 1.1б выглядит значительно проще, чем схема на рис 1.1а

Для описания топологических свойств электрической цепи используются топологические понятия, основными из которых являются узел, ветвь и контур.

*Узлом* электрической цепи называют место (точку) соединения трех и более элементов. Графически такое соединение может изображаться различными способами. Обратите внимание на точку в месте пересечения линий схемы. Если она отсутствует, то это означает отсутствие соединения. Точка может не ставиться там, где при пересечении линия заканчивается (рис 1.1а).

Узел не обязательно имеет вид точки. На рис. 1.1б вся нижняя линия связи, соединяющая  $R_2$ ,  $E$ ,  $R_5$  и  $R_3$ , является узлом, а на рис.1а этот же узел представлен диагональной связью.

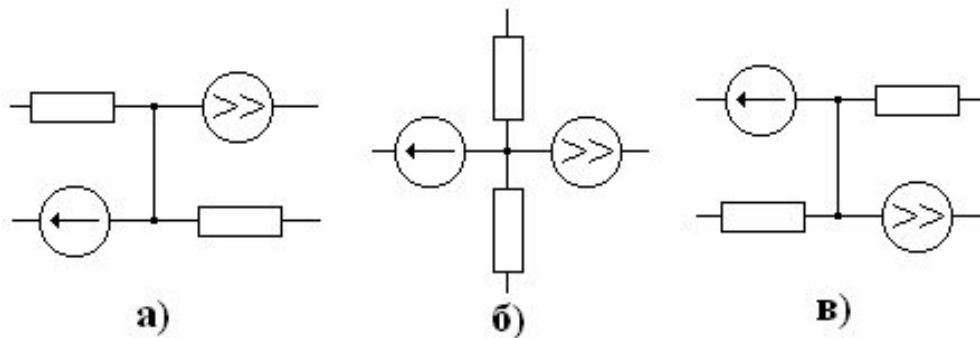


Рис. 1.2

**Ветвью** называют совокупность связанных элементов электрической цепи между двумя узлами.

Ветвь по определению содержит элементы, поэтому вертикальные связи рис. 1.2а и рис. 1.2б ветвями не являются. Не является ветвью и диагональная связь рис.1.1а

**Контуром** (замкнутым контуром) называют совокупность ветвей, образующих путь, при перемещении вдоль которого мы можем вернуться в исходную точку, не проходя более одного раза по каждой ветви и по каждому узлу.

По определению различные контуры электрической цепи должны отличаться друг от друга по крайней мере одной ветвью.

Количество контуров, которые могут быть образованы для данной электрической цепи ограничено и определено.

## **Закон Ома для неоднородного участка цепи**

*Один из основных законов электродинамики был открыт в 1822 г. немецким учителем физики Георгом Омом.*

*Он установил, что сила тока в проводнике пропорциональна разности потенциалов:*

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$$



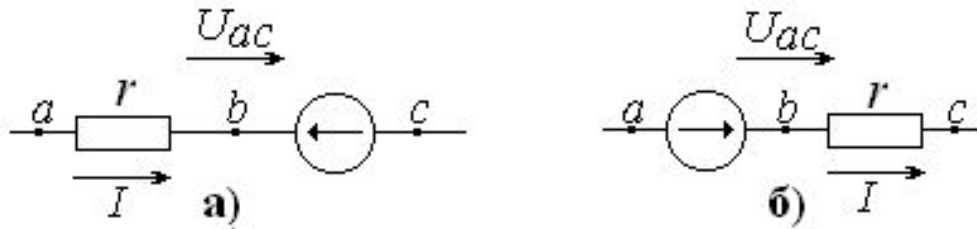


**Георг Симон Ом** (1787 – 1854) – немецкий физик.

В 1826 г. Ом открыл свой основной закон электрической цепи. Этот закон не сразу нашел признание в науке, а лишь после того, как Э. Х. Ленц, Б. С. Якоби, К. Гаусс, Г. Кирхгоф и другие ученые положили его в основу своих исследований.

Именем Ома была названа единица электрического сопротивления (Ом).

Ом вел также исследования в области акустики, оптики и кристаллооптики.



Известно, что любую электрическую цепь с помощью эквивалентных преобразований можно представить в виде последовательного соединения резистора и источника ЭДС. Рассмотрим связь между током и напряжением в таком соединении.

Падение напряжения на концах участка  $ac$  (рис. а) можно представить через разность потенциалов точек  $a$  и  $c$ :

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = (\varphi_a - \varphi_b) + (\varphi_b - \varphi_c) = U_r + U_E = Ir + E$$

Отсюда 
$$I = (U_{ac} - E) / r$$

Если аналогичные выкладки провести для цепи рис. б, в которой направление действия ЭДС противоположно, то, очевидно, мы получим выражение для тока, отличающееся знаком  $E$

$$I = (U_{ac} + E) / r$$

Таким образом, ток в цепи рис. а,б в общем случае определяется как:

$$I = (U_{ac} \pm E) / r$$

Причем, знак плюс в числителе выбирается, если направление протекания тока и направление действия ЭДС совпадают.

*Обобщенный закон Ома выражает закон сохранения энергии применительно к участку цепи постоянного тока.*

*Он в равной мере справедлив как для пассивных участков (не содержащих ЭДС), так и для активных.*

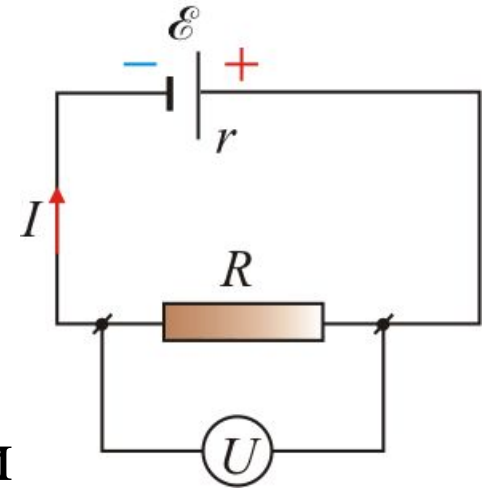
- В электротехнике часто используют термин *падение напряжения* – изменение напряжения вследствие переноса заряда через сопротивление

$$U = IR.$$

В замкнутой цепи:  $\Phi_1 = \Phi_2$

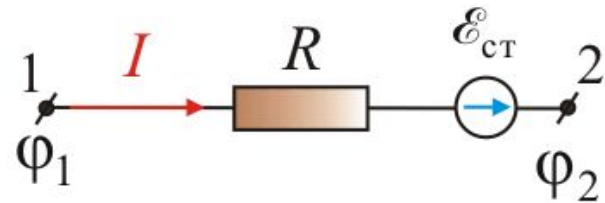
$$IR_{\Sigma} = \mathcal{E} \quad \text{или} \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\Sigma}},$$

где  $R_{\Sigma} = R + r$ ;  $r$  – внутреннее сопротивление активного участка цепи



Тогда закон Ома для замкнутого участка цепи, содержащего источник ЭДС запишется в виде

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



**Закон Ома для полной цепи** определяет значение тока в реальной цепи, который зависит не только от сопротивления нагрузки, но и от сопротивления самого источника тока. Другое название этого закона - **закон Ома для замкнутой цепи**

# Правила Кирхгофа для разветвленных цепей

Расчет разветвленных цепей с помощью закона Ома довольно сложен. Эта задача решается более просто с помощью *двух правил* немецкого физика **Г. Кирхгофа**.

# Густав Роберт Кирхгоф



*Густав Роберт*

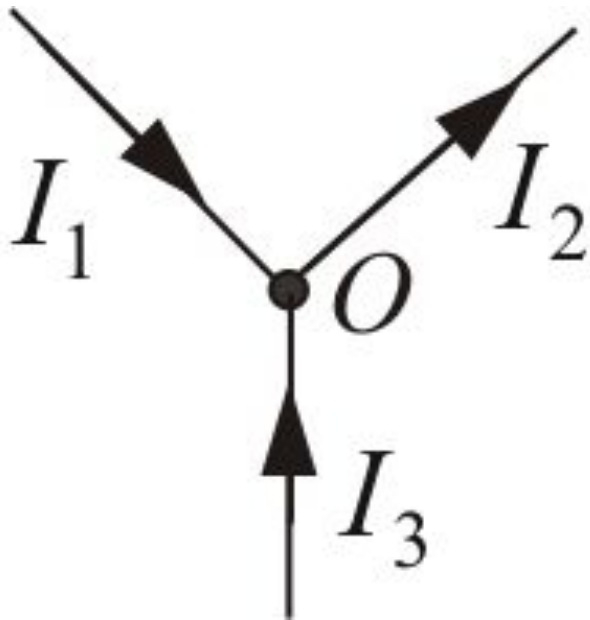
*Кирхгоф* ( 12.03.1824- 17.10.1887) — один из великих физиков 19 века.

В 1846 г. Г. Кирхгоф окончил университет, а через два года в Берлинском университете защитил докторскую диссертацию и начал преподавать в этом университете. В 1850 г. Кирхгоф был приглашен экстраординарным профессором физики в университет г. Бреслау (Силезия, ныне г. Вроцлав в Польше), а в 1855 г. возглавил кафедру физики в Геidelbergском университете. Здесь он преподавал в течение 20 лет и написал свои лучшие работы.



# *Первое правило Кирхгофа*

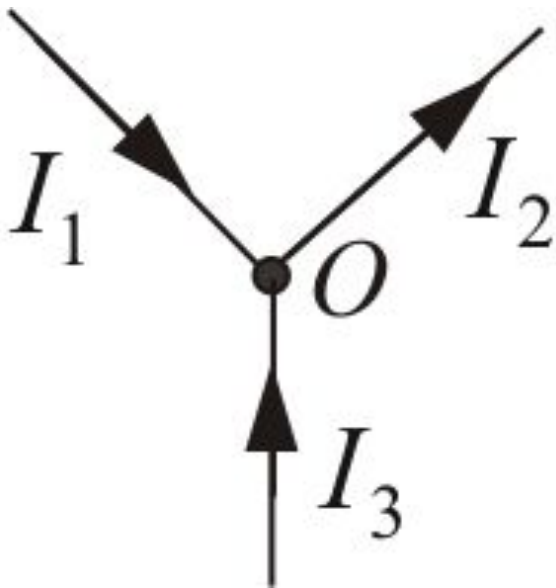
*утверждает, что алгебраическая сумма токов, сходящихся в любом узле цепи равна нулю:*



$$\sum_{k=1}^n I_k = 0$$

(узел – любой участок цепи, где сходятся более двух проводников)

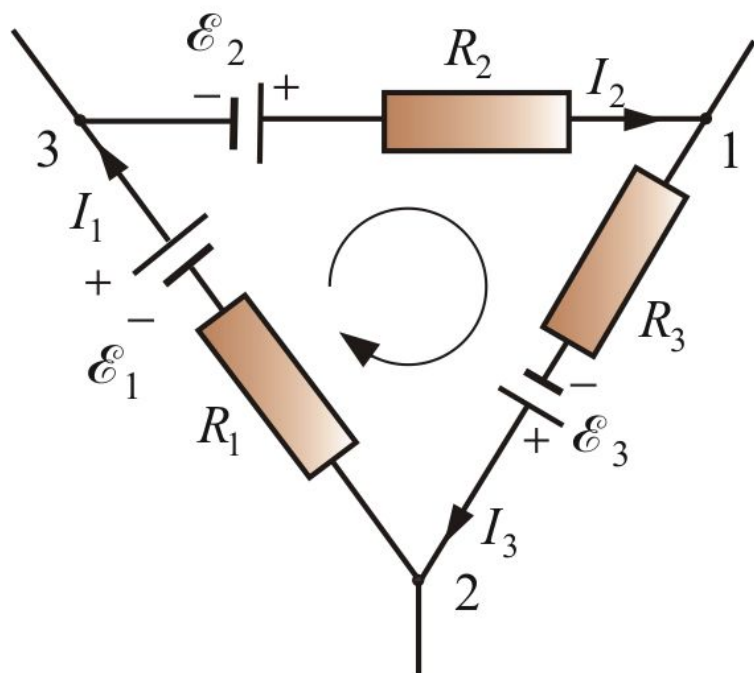
*В случае установившегося постоянного тока в цепи ни в одной точке проводника, ни на одном из его участков не должны накапливаться электрические заряды*



*Токи, сходящиеся к узлу, считаются положительными:*

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0.$$

**Второе правило Кирхгофа** (обобщение закона Ома для разветвленной цепи).



$$\varphi_2 - \varphi_3 + \mathbf{E}_1 = I_1 R_1;$$

$$\varphi_3 - \varphi_1 + \mathbf{E}_2 = I_2 R_2;$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 + \mathbf{E}_3 = I_3 R_3.$$

Складывая получим:

$$\sum_k I_k R_k = \sum_k \mathbf{E}_k.$$

*В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма произведения тока на сопротивление равна алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом же контуре.*

$$\sum_k I_k R_k = \sum_k \mathbf{E}_k.$$

*Обход контуров осуществляется по часовой стрелке, если направление обхода совпадает с направлением тока, то ток берется со знаком «плюс».*

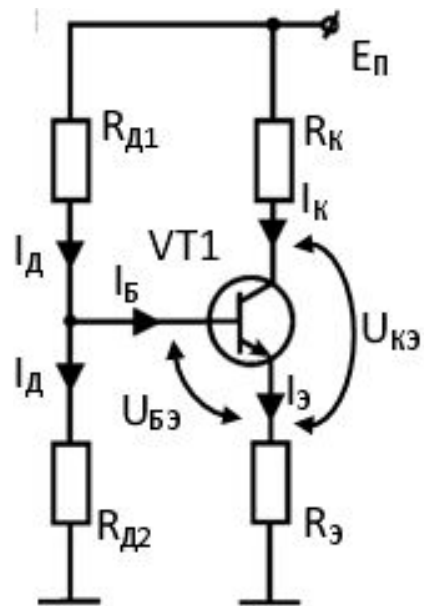


Рис. 1. Схема включения БТ по постоянному току

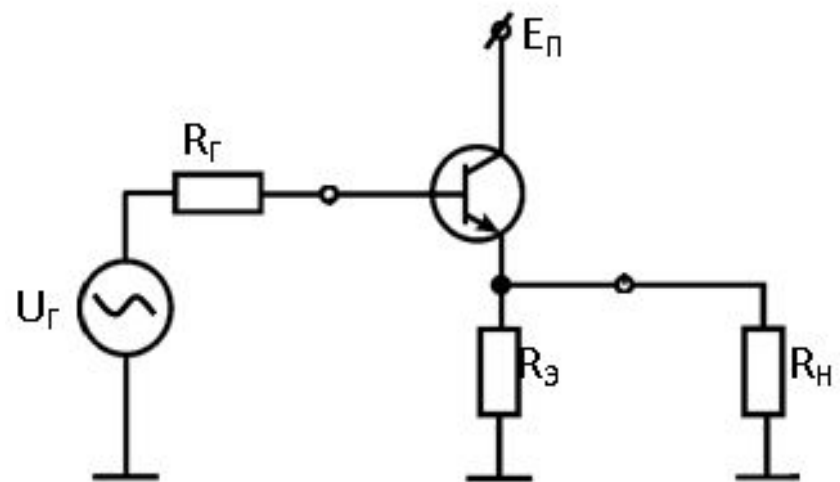


Рис. 2. Упрощенное изображение каскада ОК

## Источник ЭДС и источник тока

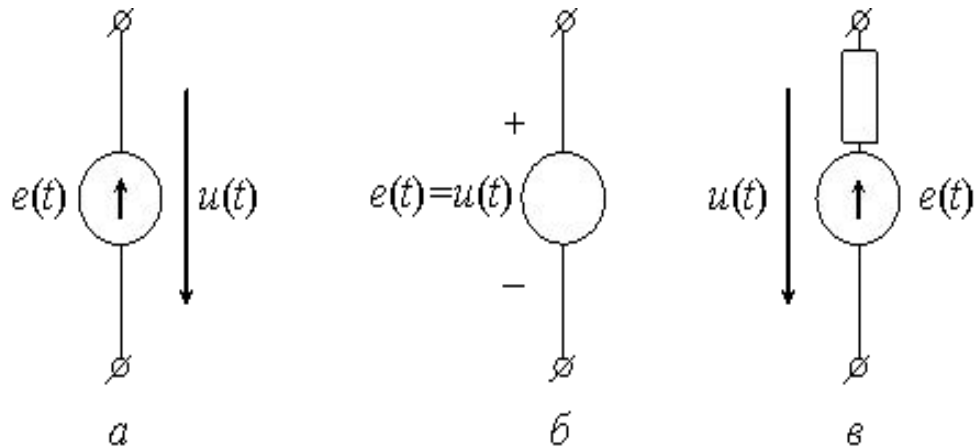
В теории электрических цепей пользуются идеализированными источниками электрической энергии: **источником ЭДС** и **источником тока**. Им приписываются следующие свойства.

Источник ЭДС (или идеальный источник напряжения) представляет собой активный элемент с двумя зажимами, напряжение на которых не зависит от тока, проходящего через источник.

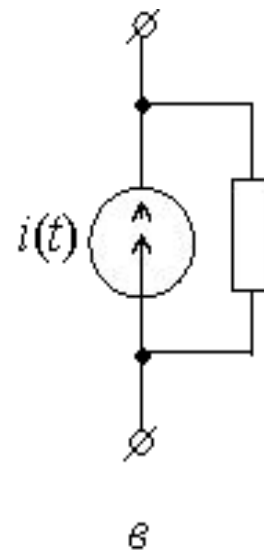
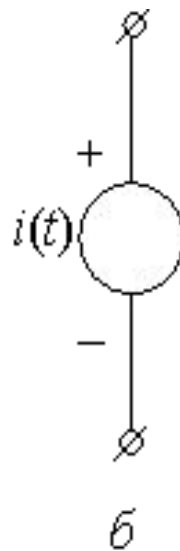
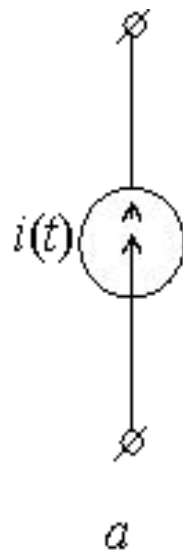
Предполагается, что внутри такого идеального источника пассивные элементы ( $R$ ,  $L$ ,  $C$ ) отсутствуют, и поэтому прохождение через него тока не вызывает в нем падения напряжения.

Источник напряжения конечной мощности изображается в виде источника ЭДС с подключенным к нему последовательно пассивным элементом, который характеризует внутренние параметры источника и ограничивает мощность, отдаваемую во внешнюю электрическую цепь (рисунок 1, в).

Обычно внутренние параметры источника конечной мощности незначительны по сравнению с параметрами внешней цепи; они могут быть отнесены к последней или в некоторых случаях могут вовсе не учитываться (в зависимости от соотношения величин и требуемой точности расчета)



Идеальный источник тока представляет собой активный элемент, ток которого не зависит от напряжения на его зажимах. Предполагается, что внутреннее сопротивление идеального источника тока бесконечно велико, и поэтому параметры внешней электрической цепи, от которых зависит напряжение на зажимах источника, не влияют на ток источника.



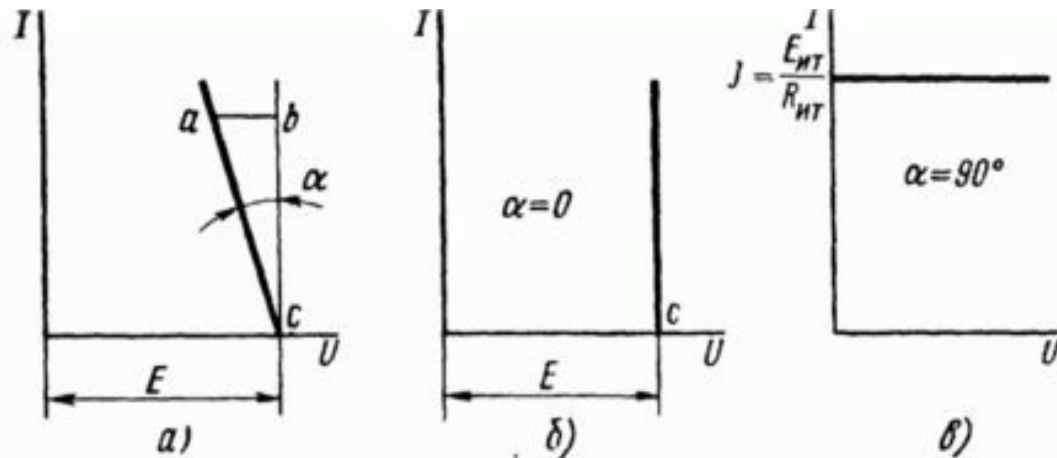


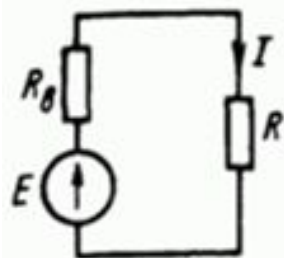
Источник электрической энергии характеризуется ЭДС  $E$  и внутренним сопротивлением  $R_{в}$ .

Если через него под действием ЭДС  $E$  протекает ток  $I$ , то напряжение на его зажимах  $U = E - IR_{в}$  при увеличении  $I$  уменьшается. Зависимость напряжения  $U$  на зажимах реального источника от тока  $I$  изображена на рис. а.

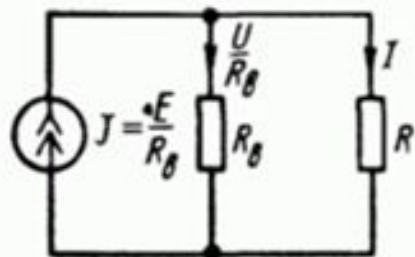
Обозначим через  $m_U$  — масштаб по оси  $U$ , через  $m_I$  — масштаб по оси  $I$ . Тогда для произвольной точки на характеристике рис. а  $abm_U = IR_{в}$ ;  $bcm_I = I$ ;  $\operatorname{tg} \alpha = ab/bc = R_{в}m_I/m_U$ . Следовательно,  $\operatorname{tg} \alpha$  пропорционален  $R_{в}$ . Рассмотрим два крайних случая.

1. Если у некоторого источника внутреннее сопротивление  $R_{в} = 0$ , то ВАХ его будет прямой линией (рис. б). Такой характеристикой обладает идеализированный источник питания, называемый *источником ЭДС*. Следовательно, источник ЭДС представляет собой такой идеализированный источник питания, напряжение на зажимах которого постоянно (не зависит от тока  $I$ ) и равно ЭДС  $E$ , а внутреннее сопротивление равно нулю.





а)



б)

2. Если у некоторого источника беспредельно увеличивать ЭДС  $E$  и внутреннее сопротивление  $R_{вт}$ , то точка  $c$  (рис. а) отодвигается по оси абсцисс в бесконечность, а угол  $\alpha$  стремится к  $90^\circ$  (рис. в). Такой источник питания называют *источником тока*.

Следовательно, источник тока представляет собой идеализированный источник питания, который создает ток  $J = I$ , не зависящий от сопротивления нагрузки, к которой он присоединен, а его ЭДС  $E_{вт}$  и внутреннее сопротивление  $R_{вт}$  равны бесконечности. Отношение двух бесконечно больших величин  $E_{вт}/R_{вт}$  равно конечной величине — току  $J$  источника тока.

При расчете и анализе электрических цепей *реальный источник* электрической энергии с конечным значением  $R_{в}$  заменяют *расчетным эквивалентом*. В качестве эквивалента может быть взят:

а) источник ЭДС  $E$  с последовательно включенным сопротивлением  $R_{в}$ , равным внутреннему сопротивлению реального источника (рис. а; стрелка в кружке указывает направление возрастания потенциала внутри источника ЭДС);

б) источник тока с током  $J = E/R_{в}$  и параллельно с ним включенным сопротивлением  $R_{в}$  (рис. б; стрелка в кружке указывает положительное направление тока источника тока).

Ток в нагрузке (в сопротивлении  $R$ ) для схем рис. а, б одинаков:  $I = E/(R + R_{в})$ . Для схемы

рис. а это следует из того, что при последовательном соединении значения сопротивлений  $R$  и  $R_{в}$  складываются. В схеме рис. б ток  $J = E/R_{в}$  распределяется обратно пропорционально значениям сопротивлений  $R$  и  $R_{в}$  двух параллельных ветвей. Ток в нагрузке  $R$

$$I = J \frac{R_{в}}{R + R_{в}} = \frac{E}{R_{в}} \frac{R_{в}}{R + R_{в}} = \frac{E}{R + R_{в}}$$

## Литература

1. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985.
2. Ровдо А.А. Схемотехника усилительных каскадов на биполярных транзисторах. – М.: Додека, 2002.
3. Расчет электронных схем. Примеры и задачи: Учебное пособие для вузов / Г.И. Изъюров, Г.В.Королев, В.А. Терехов и др. – М.: Высш. шк., 1987.
4. Ежков Ю.С. Справочник по схемотехнике усилителей. – М.: ИП РадиоСофт, 2002.
5. Остапенко Г.С. Усилительные устройства. – М.: Радио и связь, 1989.
6. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1983.
7. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник / К.М. Брежнева, Е.Г. Гантман, Т.И. Давыдова и др. Под. ред. Б.Л. Перельмана. – М.: Радио и связь, 1981.
8. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник / В.Л. Аронов, А.В. Баюков, А.А. Зайцев и др.; Под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
9. Шкритек П. Справочное руководство по звуковой схемотехнике. – М.: Мир, 1991.
10. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. - М.: Мир. 2002.