

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ И КПД ИСТОЧНИКА ТОКА ОТ НАГРУЗКИ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех специальностей и направлений подготовки*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

УДК 531/534 (073)

ФИЗИКА. Зависимость мощности и КПД источника тока от нагрузки:
Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.С. Прошкин, В.В. Фицак, М.О. Силиванов*. СПб, 2021. 25 с.

Методические указания к лабораторным работам дают возможность ознакомиться с физическими явлениями, методикой выполнения лабораторного исследования и правилами оформления лабораторных работ. Выполнение лабораторной работы позволит студенту сформировать необходимые компетенции.

Предназначены для студентов всех специальностей и направлений подготовки.

Научный редактор проф. *А.С. Мустафаев*

Рецензент доц. каф. ФТООПБ, *Н.И. Егорова* (СПБУ ГПС МЧС РФ)

Цель работы: 1. Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока. 2. Исследование зависимости полезной и полной мощности источника тока. 3. Определение зависимости КПД источника тока от сопротивления нагрузки.

1. Введение

В 1786 г профессор медицины Болонского университета Луиджи Гальвани обнаружил явление, при котором происходило сокращение мышц лапок лягушки, закрепленных на медных крючках, при прикосновении к ним стального скальпеля (рис. 1). Очевидно, что в этом случае при контакте разнородных металлов возникал электрический ток. Но, сам Гальвани считал, что его наблюдения доказывали существование особого «животного электричества». Гальвани предполагал, что открыл некоторую форму особой «витальной силы», характерной только для живых существ.

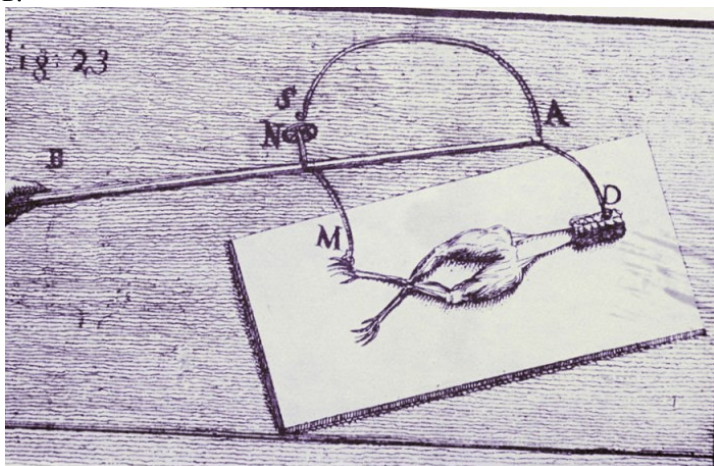


Рис. 1. Иллюстрация опыта Гальвани

Итальянский физик и химик Алессандро Вольта, заинтересовавшись опытами Гальвани, решил, что причиной сокращения мышц лягушки является поток электрических зарядов, т.е. электрический ток. Чтобы доказать справедливость своей гипотезы Вольта заменил животную плоть деревянными опилками, размоченными в

соленой воде. Он понял, что самыми главными элементами в опытах Гальвани были два металла, которые реагировали друг с другом, за счет чего электрический заряд переходил из одного металла в другой.

Этот эффект Вольта усилил, используя в своей конструкции много биметаллических элементов, расположенных друг за другом в порядке чередования. Его первый «вольтов столб» представлял собой серебряные монеты, переложенные цинковыми дисками и разделенные сырыми древесными опилками.

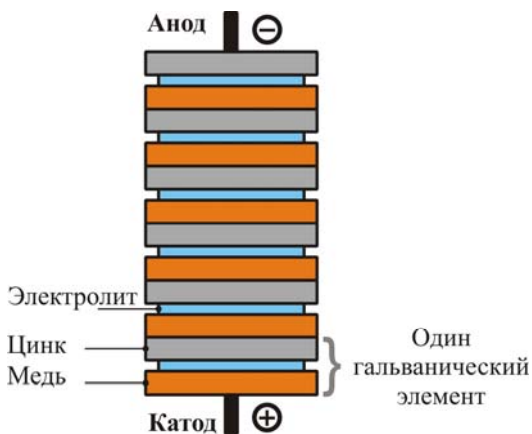


Рис. 2. Устройство «вольтова столба»

В результате Вольта заменил лапку лягушки изобретенным им электрометром и повторил все опыты Гальвани. В 1800 г Вольта на заседании Лондонского королевского общества доложил о своем открытии, т.е. о создании первого в истории источника постоянного электрического тока.

В 1802 г русский физик В.В. Петров сконструировал на тот момент самую большую гальваническую батарею, состоявшую из 4200 медных и цинковых кружков диаметром 35 мм и толщиной 2,5 мм. Между дисками были размещены бумажные кружки, пропитанные раствором нашатыря. Можно предположить, что такая батарея давала напряжение около 1500 В. Петров исследовал свойства своей батареи как источника тока и доказал, что ее действие основано на химических процессах между металлами и электролитом. Соз-

данную им батарею Петров использовал для получения электрической дуги.

2. Типы источников постоянного тока

Изобретение Вольта означало впервые в истории создание гальванического источника питания. Гальванические источники тока – это устройства, в которых в электролитический раствор помещены два электрода из разных металлов. Разность электрохимических потенциалов металлов определяет ЭДС элемента. Электрохимические потенциалы зависят не только от металлов, но и от свойств раствора и концентрации ионов металла в растворе.

Таким образом, в гальванических источниках химическая энергия напрямую преобразуется в электрическую (рис. 3). Реагенты, входящие в состав источника, расходуются в процессе его работы, поэтому, когда они полностью израсходуются, источник прекратит свою работу.



Рис. 3. Устройство гальванического элемента

На сегодняшний день широко используются марганцево-цинковые элементы, не содержащие жидкого раствора электролита (сухие элементы, батарейки). В них цинковый электрод служит катодом, электрод из смеси диоксида марганца с графитом служит анодом. Роль электролита в них выполняют: паста из раствора хлорида аммония с добавкой крахмала в качестве загустителя или паста на основе гидроксида калия. Марганцево-цинковые элементы обла-

дают большей емкостью и обеспечивают устойчивую работу при больших токах нагрузки.

Гальванические элементы используются в системе сигнализации, фонарях, часах, калькуляторах, аудиосистемах, игрушках, радио, пультах дистанционного управления, компьютерах и т.п.

Наряду с гальваническими элементами, которые называются первичными, широко применяются вторичные источники тока (аккумуляторы). Аккумуляторы – это устройства, в которых электрическая энергия внешнего источника тока превращается в химическую энергию и может накапливаться, а химическая – снова превращается в электрическую. Следовательно, электрический аккумулятор – это химический источник тока многократного действия, который может быть вновь заряжен после разряда (рис. 4). Принцип действия аккумулятора основан на обратимости химической реакции.

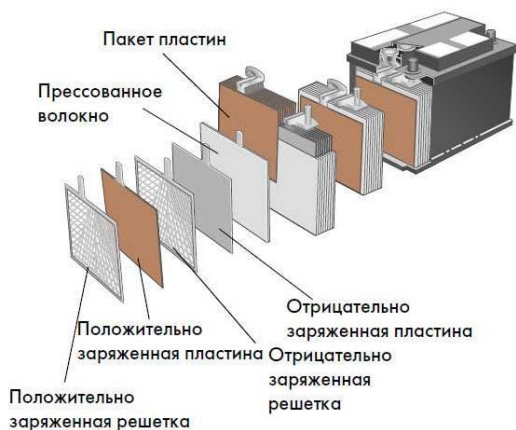


Рис. 4. Устройство свинцово-кислотного аккумулятора автомобиля

Первый прообраз аккумулятора, который можно было многократно заряжать, был создан в 1803 г Иоганном Риттером. Его аккумуляторная батарея представляла собой столб из пятидесяти медных кружочков, между которыми было проложено влажное сукно. После пропускания через данное устройство тока от вольтова столба оно само начинало вести себя как источник электричества.

Таким образом, при перезарядке аккумулятора через него пропускают ток от внешнего источника. Многие реакции, используемые в первичных гальванических элементах непригодны для аккумуляторов даже в случае их обратимости, так как цикл разряд – заряд может изменить состояние электродов.

Одним из наиболее распространенных аккумуляторов является свинцовый (или кислотный). Электролитом в нем является 25–30 % раствор серной кислоты. Электродами кислотного аккумулятора являются свинцовые решетки, заполненные оксидом свинца, который при взаимодействии с электролитом превращается в сульфат свинца $PbSO_4$. При работе этой конструкции аккумулятора, пластинки из-за действия серной кислоты выделяют сульфат свинца, в результате чего образуется электрический ток. Также выделяется вода, и поэтому концентрация электролита уменьшается по плотности. Во время зарядки аккумулятора процесс осуществляется в обратном порядке, свинец снова обретает металлическую форму, электролит становится более концентрированным. Принцип работы аккумулятора основан на методе двойной сульфатации, который позволяет полностью восстанавливать первоначальные свойства аккумулятора.

Также существуют щелочные аккумуляторы: наибольшее применение получили никель-кадмиевые и никель-металлгидридные аккумуляторы, в которых электролитом служит гидроксид калия (KOH). Также используются цинк-серебряные, цинк-воздушные и марганцевые электроды.

В современных электронных устройствах (мобильные телефоны, планшеты, ноутбуки), в основном, применяются литий-ионные и литий-полимерные аккумуляторы, характеризующиеся высокой емкостью и надежностью (рис. 5). Литий-ионный аккумулятор состоит из электродов (катодного материала на алюминиевой фольге и анодного материала на медной фольге), разделенных пропитанными электролитом пористыми сепараторами. Переносчиком заряда в литий-ионном аккумуляторе является положительно заряженный ион лития, который внедряется в кристаллическую решетку других материалов (например, в графит, оксиды и соли металлов) с образованием химической связи (в графит с образованием LiC_6 , ок-

сиды ($LiMO_2$) и соли ($LiMRON$) металла). Литий-ионные аккумуляторы на сегодняшний день являются самыми распространенными. Именно они используются во всех современных электронных устройствах, включая электромобили.



Рис. 5. Литий-ионный аккумулятор форм-фактора 18650

Алюминий-ионный аккумулятор состоит из металлического алюминиевого анода, катода из графита в виде пены и жидкого ионного невоспламеняющегося электролита. Такая батарея работает по принципу электрохимического осаждения: происходит растворение алюминия на аноде, далее в среде жидкого электролита анионы хлоралюмината проникают в графит. Количество возможных перезарядок подобной батареи может превышать 7,5 тыс. циклов без потери мощности.

Аккумуляторы используются для запуска автомобильных двигателей; возможно так же их применение в качестве временных источников электроэнергии в местах, удаленных от населенных пунктов.

Два и более аккумулятора для повышения напряжения, тока, мощности или надежности могут быть электрически соединены в аккумуляторную батарею. Так, например, автомобильный аккумулятор состоит из шести отдельных аккумуляторов, дающих напряже-

ние по 2 В каждый. Таким образом, суммарное напряжение аккумулятора равно 12 В.

3. Основные характеристики источников постоянного тока

К основным характеристикам источников постоянного тока можно отнести:

- электродвижущую силу (ЭДС);
- емкость;
- энергию, которую он может отдать во внешнюю цепь;
- сохраняемость;
- температурный режим.

Электродвижущая сила (ЭДС) источника зависит от материала электродов и химического состава электролита и не зависит от размеров электродов и количества электролита. ЭДС описывается термодинамическими функциями протекающих электрохимических процессов.

Электрическая емкость источника – это количество электричества, которое источник тока отдает при разряде в течение определенного времени. Емкость зависит от массы реагентов, запасенных в источнике, и степени их химического превращения. Номинальная емкость элемента означает способность накапливать и отдавать электроэнергию постоянного тока во внешнюю цепь, и определяет время автономной работы элемента. Емкость элемента снижается с понижением температуры или увеличением разрядного тока. За емкость аккумулятора чаще всего принимают количество электричества равное 1 Кл, при силе тока 1 А в течение 1 с. Поэтому на аккумуляторе написано количество электричества Q , которое он выдает при определенном токе разряда и определенном времени его прохождения.

Энергия элемента численно равна произведению его емкости на напряжение. С увеличением количества вещества реагентов в элементе и до определенного предела, с увеличением температуры, энергия возрастает. Энергия аккумулятора уменьшается при увеличении разрядного тока.

Сохраняемость – это срок хранения элемента, в течение которого его характеристики остаются в заданных пределах. Сохраняемость элемента уменьшается с ростом температуры хранения.

Температурный режим определяет работоспособность аккумуляторов при значительных перепадах температур. Не следует использовать аккумуляторы при температурах выше $+50^{\circ}\text{C}$ и ниже -25°C . Нарушение температурного режима может привести к сокращению срока службы или потере работоспособности. Поэтому аккумуляторы следует беречь от огня и воды, чрезмерного нагревания и охлаждения, и резких перепадов температур.

Теперь остановимся подробнее на основных физических характеристиках источников постоянного тока.

При прохождении электрического тока по замкнутой цепи, заряженные частицы (электроны) перемещаются не только во внешних проводах и нагрузке, но и внутри самого источника тока. Поэтому в замкнутой электрической цепи различают внешний и внутренний участки. Внешний участок цепи составляет вся та совокупность проводников, которая подсоединяется к полюсам источника тока и обозначается R . Внутренний участок цепи – это сам источник тока. При этом источник тока обладает собственным сопротивлением, которое называется внутренним сопротивлением источника и обозначается r . Таким образом, источник тока в замкнутой цепи совершает работу по перемещению зарядов не только на внешнем, но и на внутреннем участке. Это, в частности, может приводить к нагреву самого источника с выделением в нем теплоты:

$$Q_r = I^2 r t ,$$

где I - ток, текущий через источник; t - время.

Всякую замкнутую цепь можно представить, как два последовательно соединенных резистора с сопротивлениями R и r (см. рис. 6). На рис. 6. реальный источник постоянного тока обведен пунктиром. Поскольку сопротивления R и r соединены последовательно, через них течет общий одинаковый ток. Тогда по закону Ома для падения напряжения на внешнем и внутреннем участках цепи соответственно можно записать: $U_R = IR$; $U_r = Ir$.

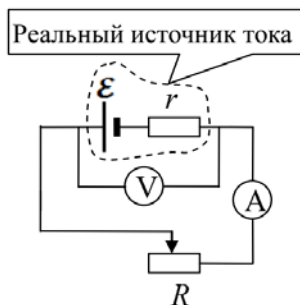


Рис. 6. Электрическая схема лабораторной установки

Главная функция источника постоянного тока заключается в разделении положительных и отрицательных зарядов, которые затем перемещаются на электроды источника соответствующего знака. Если теперь источник тока включить в цепь, то по закону Кулона заряды электродов будут действовать на заряды проводника, находящиеся вблизи электродов, которые в свою очередь действуют на другие заряды, и т. д. В результате на поверхности проводника возникает электрическое поле, порождающее постоянный электрический ток. При этом работа по разделению зарядов внутри источника осуществляется за счет электродвижущей силы (ЭДС). Важным условием является то, что природа ЭДС источника не может быть электростатической, т.е. потенциальной. Действительно, электростатическое поле является потенциальным, следовательно, работа такого поля по замкнутому контуру должна быть равна нулю, и следовательно ток, создаваемый электростатическим полем в замкнутой электрической цепи, не может существовать.

Таким образом, природа ЭДС должна быть неэлектростатического происхождения. Эта сила может иметь механическую, электромагнитную, химическую, фотоэлектрическую или другую природу. Наиболее распространенными источниками постоянного тока являются гальванические элементы и аккумуляторы. Однако последнее время, в связи с развитием альтернативных источников энергии, все более распространенными становятся фотоэлементы (солнечные батареи).

4. Теоретические основы лабораторной работы

Как следует из рис. 6 электрической схемы сопротивление нагрузки R является переменным, что приводит к изменению тока и режима работы источника. Это находит отражение в зависимостях:

- напряжения внешнего участка цепи $U_R(I)$;
- напряжения внутреннего участка цепи $U_r(I)$;
- полезной мощности, выделяемой на внешней нагрузке $P_R(I)$;
- потери мощности на внутреннем сопротивлении источника $P_r(I)$.

Рассмотрим данные зависимости подробнее. Согласно второму правилу Кирхгофа для цепи на рис. 6 можно записать:

$$\begin{cases} E = IR + Ir; \\ U_R = IR; \\ U_r = E - Ir. \end{cases}$$

Тогда, после преобразований получим:

$$I = \frac{E}{R+r}; \quad (1)$$

$$U_R = \frac{E}{R+r} R. \quad (2)$$

Следовательно, потери напряжения на источнике равны:

$$U_r = Ir = \frac{E}{R+r} r. \quad (3)$$

Теперь рассмотрим характеристики мощности и коэффициента полезного действия (КПД). Полная мощность источника равна:

$$P_{\text{и}} = EI,$$

с учетом формулы (1), получим:

$$P_{\text{и}} = \frac{E^2}{R+r}. \quad (4)$$

Тогда, потери мощности на самом источнике:

$$P_r = U_r I = \frac{E^2}{(R+r)^2} r, \quad (5)$$

тогда полезная мощность источника равна:

$$\begin{aligned}
 P_R &= P_{\text{и}} - P_r = EI - I^2 r = \frac{E^2}{R+r} - \frac{E^2}{(R+r)^2} r = \\
 &= E^2 \left(\frac{1}{R+r} - \frac{r}{(R+r)^2} \right) = E^2 \frac{R}{(R+r)^2}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Важной энергетической характеристикой источника является коэффициент полезного действия (КПД):

$$\eta = \frac{P_R}{P_{\text{и}}} = \frac{P_{\text{и}} - P_r}{P_{\text{и}}} = 1 - \frac{P_r}{P_{\text{и}}}. \tag{7}$$

С учетом формул (4) и (5) получим

$$\eta = 1 - \frac{I r}{E} = 1 - \frac{U_r}{E} = \frac{R}{R+r}, \tag{8}$$

таким образом, КПД показывает какая доля общей мощности источника передается им нагрузке.

5. Режимы работы источника

Возможные значения энергетических характеристик источника постоянного тока определяют различные режимы его работы.

1. Режим холостого хода – это режим в случае разомкнутой внешней цепи, т.е. $R \rightarrow \infty$, тогда согласно (1) получим, что ток холостого хода $I_{\text{хх}} = 0$, а $U_R = E$ и $U_r = 0$, т.е. потери напряжения отсутствуют, следовательно, $P_{r_{\text{хх}}} = 0$, $P_{R_{\text{хх}}} = 0$ и $\eta = 100\%$. То, что КПД равен 100% означает только, что при холостом ходе отсутствуют потери мощности во внешней цепи и источник теоретически может передать всю мощность нагрузке.
2. Режим короткого замыкания – это режим, при котором сопротивление нагрузки стремится к нулю $R \rightarrow 0$. Тогда ток в цепи резко возрастает, достигая максимума $I_{\text{кз}} = \frac{E}{r}$. Следовательно, ток короткого замыкания ограничен внутренним сопротивлением источника. В итоге мощность источника при коротком замыкании равна:

$$P_{\text{иКЗ}} = \frac{E^2}{r}, \quad (9)$$

и достигает максимума, следовательно, $\eta_{\text{КЗ}} = 0$.

Режимы короткого замыкания и холостого хода являются предельными, ограничивающими область возможных режимов работы источника постоянного тока. Оба эти режима не реализуются на практике, поскольку холостой ход является нерабочим, а в случае короткого замыкания аккумулятор (батарея) может быстро выйти из строя. **По этой причине в нашей лабораторной работе используется не гальванический элемент, а стабилизированный источник постоянного тока, работающий от сети переменного тока 220 В.**

В то же время в радиотехнических схемах режим, близкий к короткому замыканию, является естественным для работы транзисторов и микросхем.

3. Согласованный режим – в этом случае мощность, передаваемая во внешнюю цепь, достигает максимума. Для вычисления условия согласованного режима используем формулу:

$$P_R = \frac{E^2}{(R+r)^2} R. \quad (10)$$

Возьмем производную от выражения (10) и приравняем ее нулю:

$$\frac{dP_R}{dR} = E^2 \frac{(r+R)^2 - 2R(r+R)}{(R+r)^4} = 0. \quad (11)$$

Следовательно, $(r+R)^2 - 2Rr - r^2 = 0$, тогда полезная мощность достигает максимума при совпадении сопротивлений источника и нагрузки:

$$R = r. \quad (12)$$

Подставим (12) в (10) в результате получим:

$$P_R = \frac{E^2}{4R}, \quad (13)$$

тогда

$$I = \frac{E}{2r} = \frac{I_{\text{КЗ}}}{2}; \quad (14)$$

$$U_R = \frac{E}{2}; \quad P_{\text{и}} = \frac{E^2}{2r}; \quad P_r = \frac{P_{\text{и}}}{2} = \frac{E^2}{4r}.$$

В итоге КПД согласованного режима будет равен:

$$\eta = \frac{P_R}{P_{\text{и}}} = \frac{E^2}{4R} \frac{2r}{E^2} = 50\% . \quad (15)$$

Таким образом, в случае согласованного режима мощность, отдаваемая во внешнюю цепь максимальна, но равна потери мощности на внутреннем сопротивлении источника.

Такой режим в реальных условиях неприемлем, поскольку потери источника не должны превышать 5 %. В то же время согласованный режим широко применяется в технике связи, автоматике, вычислительной технике, когда используются малые значения мощности источника.

4. Номинальный режим – данный режим соответствует параметрам, указанным производителем источника. Как правило, эти параметры указаны в паспорте источника. Такой режим гарантирует эффективное и экономичное использование источника тока. Для мощных электротехнических цепей номинальный режим соответствует условию $R \gg r$. Однако, встречаются устройства, в которых во внешней части цепи стремятся достичь максимального значения тока, т. е. режима близкого к короткому замыканию и $r \gg R$.

Все перечисленные режимы можно охарактеризовать, так называемой, внешней характеристикой источника (рис. 7).

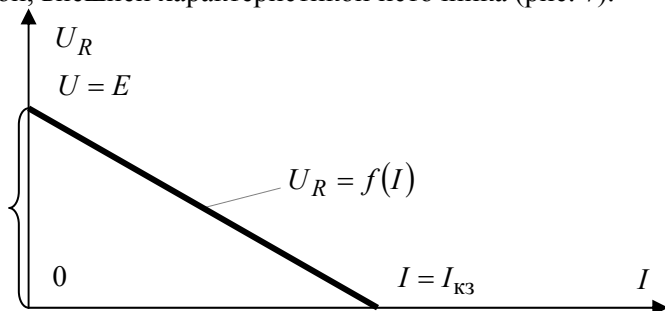


Рис. 7. Внешняя характеристика источника постоянного тока

Как видно из рис. 7, напряжение на клеммах источника U_R изменяется от E до 0 при уменьшении сопротивления нагрузки и, следовательно, увеличения потери мощности P_r . Таким образом, чем больше внутреннее сопротивление источника, тем больше потери напряжения при одном и том же токе (см. рис. 8).

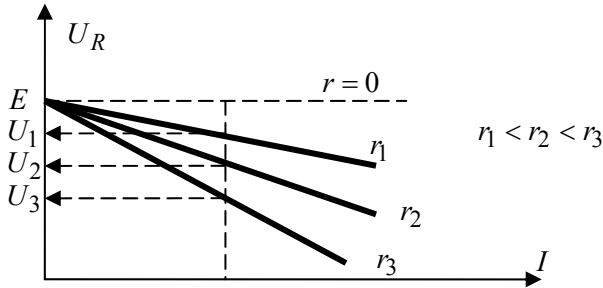


Рис. 8. Внешняя характеристика источника при разных внутренних сопротивлениях

Данные обстоятельства определяют понятия идеального источника тока и идеального источника напряжения. Идеальный источник напряжения (ЭДС) – это источник, чье напряжение на его выводах остается постоянным и равным ЭДС при любом токе в цепи (см. рис. 9). На этом рисунке пунктиром изображена внешняя характеристика реального источника напряжения.

Наличие внешней характеристики конкретного источника позволяет определить его внутреннее сопротивление по формуле:

$$r = \frac{\Delta U}{\Delta I},$$

где ΔU и ΔI - приращение напряжения и тока. Для идеального источника напряжения внутреннее сопротивление $r \rightarrow 0$.

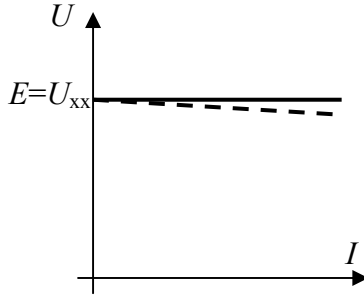


Рис. 9. Внешняя характеристика источника напряжения

В случае идеального источника тока его ток при любом напряжении на его клеммах остается неизменным. На рис. 10 изображена внешняя характеристика идеального источника тока, где пунктиром отражена характеристика реального источника тока.

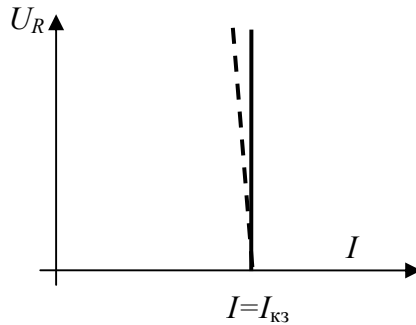


Рис. 10. Внешняя характеристика источника тока

Очевидно, что в случае идеального источника тока его внутреннее сопротивление $r \rightarrow \infty$, а $I = I_{кз}$.

Теперь рассмотрим, каким образом мощность источника зависит от сопротивления нагрузки. Согласно формуле (9) мощность источника достигает максимального значения в случае короткого замыкания

$$P_{\text{иmax}} = EI = \frac{E^2}{r}. \quad (16)$$

Тогда, мощность потерь источника $P_r = I^2 r$, как функция тока должна иметь вид параболы. Определим математический вид зависимости полезной мощности как функции тока $P_R = f(I)$:

$$\begin{aligned}
 P_R &= EI - I^2 r = -I^2 r + \frac{2E}{2} I - \frac{E^2}{4r} + \frac{E^2}{4r} = \\
 &= -r \left(I^2 - \frac{2E}{2r} I + \frac{E^2}{4r^2} \right) + \frac{E^2}{4r} = -r \left(1 - \frac{E}{2r} \right)^2 + \frac{E^2}{4r}.
 \end{aligned} \tag{17}$$

Видно, что формула (17) определяет параболу, расположенную ветвями вниз. При этом вершина параболы соответствует координатам:

$$P_{R_{\max}} = \frac{EI_{\text{кз}}}{4} \quad \text{и} \quad \frac{I_{\text{кз}}}{2}.$$

На рис. 11 представлены графики зависимостей полезной мощности; мощности источника; мощности потерь; КПД источника; напряжения от силы тока во внешней цепи.

Поскольку в большинстве радиотехнических и радиоэлектронных цепей ток нагрузки не играет решающего значения, для анализа работы источника принято строить перечисленные выше зависимости как функции сопротивления нагрузки R . Так, например, на рис. 12 и 13 представлены графики зависимости полезной мощности источника и его КПД от сопротивления нагрузки.

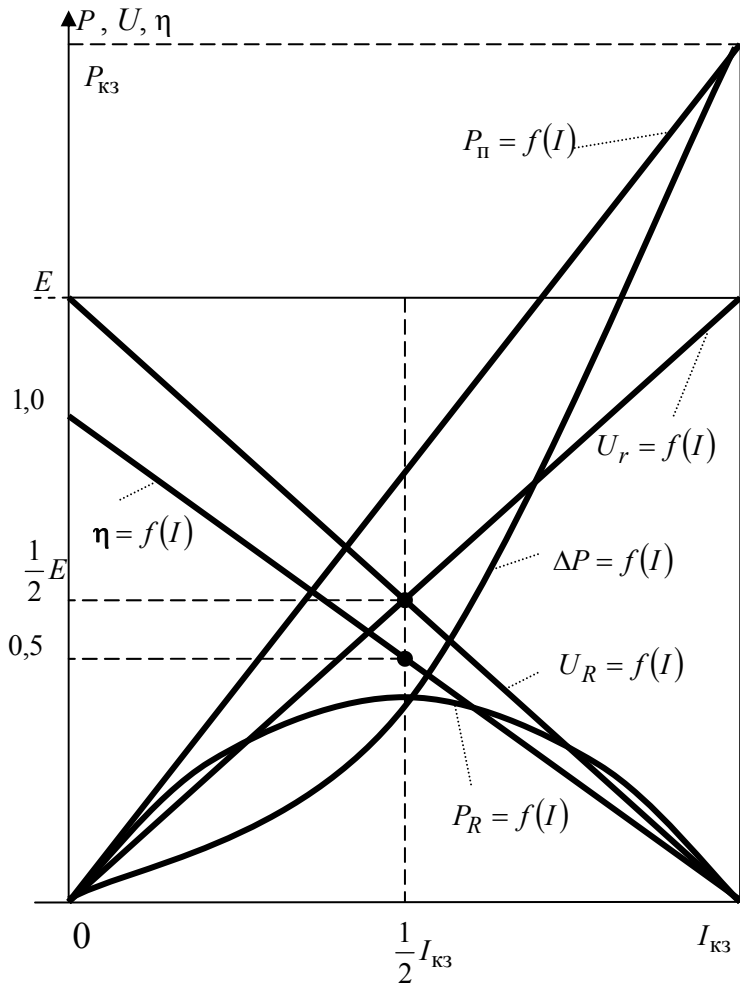


Рис. 11. Графики зависимости мощности, напряжения и КПД от тока при разных режимах работы источника

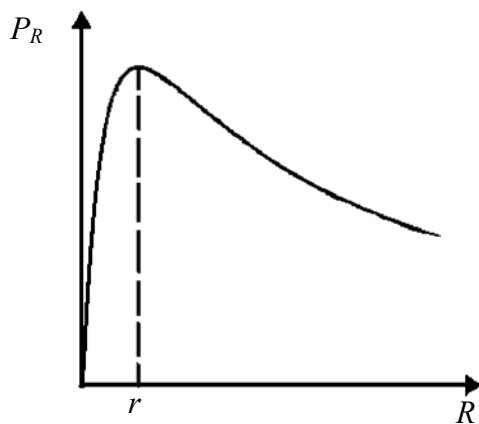


Рис. 12. График зависимости полезной мощности источника от сопротивления нагрузки

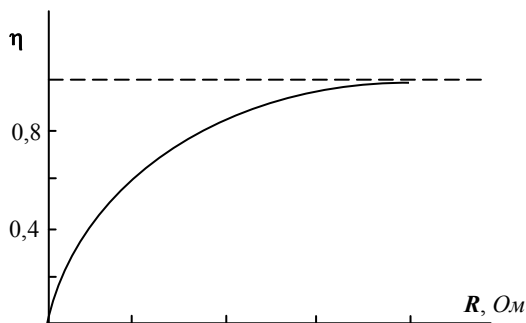


Рис. 13. График зависимости КПД источника от сопротивления нагрузки

6. Порядок выполнения лабораторной работы

Задание 1. Изучение работы нестабилизированного источника

1. Записать в таблицу 1 технические данные используемых в лабораторной работе приборов.
2. Собрать электрическую схему согласно рис. 14. В качестве переменного сопротивления нагрузки R включить в цепь магазин сопротивлений Р 22.

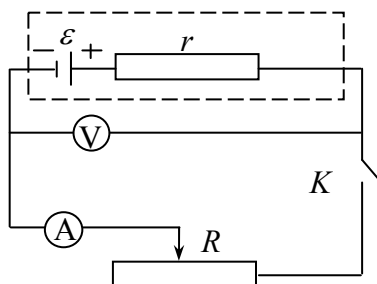


Рис. 14. Принципиальная схема лабораторной установки

3. Включить в схему нестабилизированный источник питания.

Таблица 1

№	Название прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Абсолютная погрешность
1					

<i>n</i>					

4. Установить на магазине сопротивлений $R = 0$ Ом, тем самым, обеспечив режим короткого замыкания. Измерить значения тока и напряжения. Полученные значения записать в таблицу 2.

ВНИМАНИЕ! Измерения следует проводить быстро, стараясь не нагружать источник и сопротивление максимальным током.

Таблица 2

№	I , А	U , В	R , Ом	$P_{И}$, Вт	P_R , Вт	P_r , Вт	r , Ом	ϵ , В	η , %
1.									

<i>n</i>									

5. Установить сопротивление нагрузки $R = 10$ Ом. Измерить значения тока и напряжения. Полученные значения записать в таблицу 2.

6. Изменяя сопротивление нагрузки от 10 Ом до 100 Ом через каждые 10 Ом, записать измеренные значения тока и напряжения в таблицу 2.

7. Все измерения п. 6. повторить для сопротивлений нагрузки от 100 Ом до 1000 Ом через каждые 100 Ом.
8. Разомкнуть цепь, отключив один из проводов, и измерить напряжение на источнике. Полученное значение напряжения, соответствующее режиму холостого хода записать в таблицу 2.

Задание 2. Изучение работы стабилизированного источника

1. Записать в таблицу 1 технические данные используемых в лабораторной работе приборов.
2. Собрать электрическую схему согласно рис. 14. В качестве переменного сопротивления нагрузки R включить в цепь магазин сопротивлений Р 22.
3. Включить в схему стабилизированный источник питания.
4. Установить на магазине сопротивлений $R = 20$ Ом. Измерить значения тока и напряжения. Полученные значения записать в таблицу 3.

ВНИМАНИЕ! Измерения следует проводить быстро, стараясь не нагружать источник и сопротивление максимальным током.

Таблица 3

№	I , А	U , В	R , Ом	$P_{и}$, Вт	P_R , Вт	P_r , Вт	r , Ом	ϵ , В	η , %
1.									

n									

5. Установить сопротивление нагрузки $R = 20$ Ом. Измерить значения тока и напряжения. Полученные значения записать в таблицу 3.
6. Изменяя сопротивление нагрузки от 20 Ом до 100 Ом через каждые 10 Ом, записать измеренные значения тока и напряжения в таблицу 3.
7. Все измерения п. 6. повторить для сопротивлений нагрузки от 100 Ом до 1000 Ом через каждые 100 Ом.

ВНИМАНИЕ! Для стабилизированного источника режим холостого хода НЕДОПУСТИМ! В противном случае это приведет к выходу источника из строя!

8. Разомкнуть цепь, отключив один из проводов, и измерить напряжение на источнике. Полученное значение напряжения, соответствующее режиму холостого хода записать в таблицу 3.

7. Обработка результатов измерений

1. Записать закон Ома для полной цепи при любых двух измеренных значениях тока и сопротивления в проделанных опытах:

$$\begin{cases} \varepsilon = I_i(R_i + r) \\ \varepsilon = I_k(R_k + r) \end{cases} \quad (18)$$

где $R_i = \frac{U_i}{I_i}$ и $R_k = \frac{U_k}{I_k}$ – два различных значения сопротивлений нагрузки, устанавливаемых при измерениях в пунктах 5, 6 и 7. Например, R_i – сопротивление в опыте №3, а R_k – сопротивление в опыте №8 из таблицы 2.

Из полученной системы уравнений вывести формулы для ε и r , выраженные через измеренные U и I .

Для расчета ε и r по выведенным формулам использовать 5 пар значений U и I из таблицы 2. С этой целью использовать значения пар напряжений и токов, значительно отличающихся друг от друга.

2. Рассчитать значения мощности для всех измеренных пар токов и напряжений: $P_{\text{И}}$ – полная мощность источника; P_R – полезная мощность; P_r – мощность потерь. Полученные значения мощности записать в соответствующие столбцы таблицы 2. Рассчитать значения КПД для всех пар токов и напряжений, полученные значения записать в таблицу 2.

3. Построить графики зависимостей $P_{\text{И}}(I)$; $P_R(I)$; $P_r(I)$ и $\eta(I)$ для нестабилизированного источника согласно данных таблицы 2. Примеры графиков представлены на рис. 11.

4. Построить графики зависимостей $P_{\text{И}}(R)$; $P_R(R)$; $P_r(R)$ и $\eta(R)$ для нестабилизированного источника согласно данных таблицы 2. Примеры графиков представлены на рис. 12 и 13.

5. Рассчитать погрешности измерения ЭДС ε и внутреннего сопротивления r .

6. Все пункты 1-5 повторить для стабилизированного источника.

Контрольные вопросы

1. Что такое ЭДС и от чего зависит ее величина? Какой может быть характер ее происхождения?
2. Как вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи из двух одинаковых источников, соединенных последовательно (параллельно)?
3. Какое сопротивление называется внутренним? От чего оно зависит?
4. Перечислите основные характеристики источников постоянного тока?
5. Сформулируйте закон Ома для полной цепи и для цепи данной лабораторной работы.
6. Какой из элементов лабораторной установки в наибольшей степени влияет на погрешность измерений?
7. Перечислите возможные режимы работы источника тока. Чему равен КПД источника в каждом из режимов работы?
8. Докажите, что максимум полезной мощности достигается при $R = r$.
9. Что такое идеальный источник тока и напряжения? Чему равны внутренние сопротивления таких источников?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Калашиников Н.П.* Основы физики. М.: Дрофа, 2004. Т. 1
2. *Савельев И.В.* Курс физики. СПб.: Лань, 2016. Т. 2.
3. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. М.: АCADEMIA, 2005.
4. *Иродов И.Е.* Электромагнетизм. М.: Лань, 2009.
5. *Трофимова Т.И.* Курс физики. М.: Академия, 2015.
6. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Справочник по физике. М.: Наука, 2008.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	3
2. Типы источников постоянного тока.....	5
3. Основные характеристики источников постоянного тока.....	9
4. Теоретические основы лабораторной работы.....	12
5. Режимы работы источника.....	13
6. Порядок выполнения лабораторной работы.....	21
7. Обработка результатов измерений.....	23
Контрольные вопросы.....	24
Библиографический список	24

ФИЗИКА
ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ И КПД
ИСТОЧНИКА ТОКА ОТ НАГРУЗКИ

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех специальностей и направлений подготовки*

Сост. *С.С. Прошкин, В.В. Фицак, М.О. Силиванов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
общей и технической физики

Ответственный за выпуск *С.С. Прошкин*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 08.09.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,5. Усл.кр.-отт. 1,5. Уч.-изд.л. 1,2. Тираж 75 экз. Заказ 807.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2