

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.5

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ТОКА

Цель работы: изучение компенсационного метода измерения ЭДС; исследование зависимостей полезной и полной мощности источника тока от сопротивления нагрузки.

Приборы и принадлежности: выпрямители (источники тока), нормальный элемент, гальванометр с нулем в середине шкалы, двойной ключ, реохорд, резистор, миллиамперметр, вольтметр, магазин сопротивлений.

Литература: [6, § 5.2, 5.5, 5.7]; [31, § 5.3—5.5]; [37, § 45]; [18, § 22, 70, 71, 195, 194, 197].

Введение

Если вольтметр присоединить к полюсам источника тока A и B (рис. 2.5.1), то даже при разомкнутой внешней цепи показание вольтметра не будет равно ЭДС источника тока \mathcal{E} . Вольтметр измеряет разность потенциалов $\phi_B - \phi_A$ тех точек схемы, к которым он присоединен. Поскольку падениями потенциала в соединительных проводах AD и BC можно пренебречь ввиду их малых сопротивлений, то: $\phi_B - \phi_A = \phi_C - \phi_D = IR_V$, где R_V — сопротивление вольтметра, I — ток через вольтметр.

На основании закона Ома для участка AB можно написать:

$$\phi_B - \phi_A = \mathcal{E} - Ir, \quad (1)$$

где Ir — падение потенциала в источнике тока; r — его внутреннее сопротивление.

Из формулы (1) следует, что в данном случае показание вольтметра ($\phi_B - \phi_A$) всегда меньше ЭДС. Эти показания тем ближе к ЭДС, чем меньше сила тока в приборе и источнике. Для не очень точных измерений ЭДС можно использовать вольтметр с достаточно

большим сопротивлением. Для более точных измерений ЭДС с помощью (1) нужно измерить еще и силу тока I . Это усложняет процесс измерения ЭДС. Однако из (1) следует, что ЭДС источника тока равна разности потенциалов его полюсов только при отсутствии в нем тока. Этого можно добиться, если ЭДС используемого источника ском-



Рис. 2.5.1

пенсировать разностью потенциалов, созданной другим источником. Эта идея и реализуется в так называемом методе компенсации.

Если ключ K (см. рис. 2.5.1) замкнуть, то во внешней цепи через нагрузку (внешнее сопротивление) R пойдет ток и можно будет говорить о мощности, называемой *полезной* и равной $P = I^2 R$. При этом полная мощность источника равна $P_{\text{полн}} = \mathcal{E} I$. Для данного источника обе эти мощности зависят от сопротивления нагрузки. При изменении внешнего сопротивления R от бесконечности (цепь разомкнута) до нуля (короткое замыкание) полная мощность будет расти от нуля до максимального значения, а полезная мощность будет сначала расти, а потом убывать.

Зная ЭДС источника \mathcal{E} , силу тока I и напряжение U на внешнем сопротивлении R , можно, меняя R , найти зависимость $P_{\text{полн}}(R)$ и $P_p(R)$.

Описание экспериментальной установки

Компенсационный метод измерения электродвижущей силы источника тока можно изучить с помощью установки, схема которой дана на рис. 2.5.2. Здесь \mathcal{E}_0 — источник постоянного напряжения (выпрямитель или аккумулятор), \mathcal{E} — исследуемый гальванический элемент (или элементы); AB — реохорд с линейкой и подвижным контактом D ; Γ — гальванометр с нулем в середине шкалы; R — сопротивление порядка 10^5 Ом; K_1 , K_2 — двойной ключ. Двойной ключ должен замыкаться так, чтобы цепь с аккумулятором включалась первой.

Источники \mathcal{E}_0 и \mathcal{E} включены навстречу друг другу, причем

$$|\mathcal{E}_0| > |\mathcal{E}|.$$

Замыкая кратковременно двойной ключ и перемещая движок по реохорду, можно найти такое положение движка D , при котором тока в гальванометре не будет (наступает компенсация). Можно показать, пользуясь правилами Кирхгофа, что в этом случае справедливо следующее соотношение:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \frac{R_{AD}}{R_{AB} + r_0}. \quad (2)$$

Эта формула удобна для нахождения \mathcal{E} , так как требует знания r_0 . Поэтому приходят к следующему решению.

Если источник \mathcal{E} заменить другим источником с ЭДС \mathcal{E}_1 , то при компенсации для него

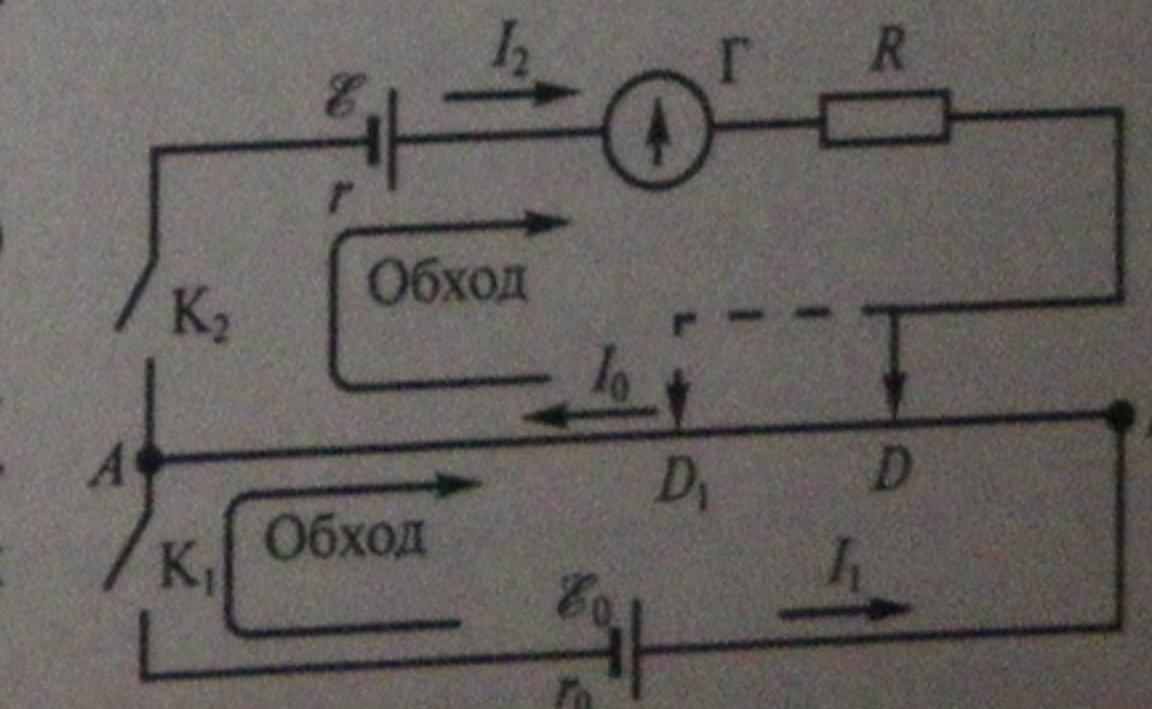


Рис. 2.5.2

будет справедливо соотношение, аналогичное (2):

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_0 \frac{R_{AD_1}}{R_{AB} + r_0}. \quad (2')$$

Компенсация в этом случае наступает при другом положении D_1 движка. Из (2) и (2') получаем

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 \frac{R_{AD}}{R_{AD_1}} = \mathcal{E}_1 \frac{l}{l_1}. \quad (3)$$

Здесь учтено, что вследствие однородности струны AB сопротивления ее частей AD и AD_1 пропорциональны их длинам l и l_1 .

Внимание! Во избежание ошибок при измерениях имейте в виду, что длины l и l_1 отсчитываются от точки A , которая на схеме является общей точкой одноименных полюсов источников \mathcal{E} и \mathcal{E}_0 .

Если ЭДС источника $\mathcal{E} = \mathcal{E}_h$ стабильна и известна с высокой точностью, то, измерив $l_1 = l_h$ для этого случая, ЭДС исследуемых элементов можно найти по формуле

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_h \frac{l}{l_h} = \frac{\mathcal{E}_h}{l_h} l = Cl, \quad (4)$$

где C — калибровочный множитель ($\text{В}/\text{мм}$), равный

$$C = \frac{\mathcal{E}_h}{l_h}. \quad (5)$$

Таким образом, измерение ЭДС методом компенсации сводится к одной операции — измерению длины l части реохорда, при которой наступает компенсация тока исследуемого источников. Разумеется, предварительно следует проградуировать прибор, т.е. найти C в формуле (4). Для этого следует использовать источник с известной ЭДС — нормальный элемент Вестона.

Внимание! Нормальный элемент Вестона — это эталон ЭДС. Его применяют только для градуировки соответствующей измерительной установки. Максимальная допустимая сила тока в нормальном элементе мала — всего несколько микроампер, поэтому нормальный элемент можно использовать только при условии защиты его от перегрузки. Для этого последовательно с ним в цепь включают сопротивление порядка 10^5 — 10^6 Ом.

Измерения и обработка результатов

Задание 1. Нахождение ЭДС источников.

Прежде всего найдите калибровочный множитель C установки, на которой вы работаете. Для этого соберите схему установки

согласно рис. 2.5.2, взяв в качестве источника ЭДС нормальный элемент. Найдите l_h при компенсации и, зная \mathcal{E}_h , рассчитайте C по формуле (5).

Значение ЭДС нормального элемента указано в паспорте установки. Ввиду важности величины калибровочного множителя C для дальнейших измерений найдите l_h не менее трех раз. Полученные значения l_h , $l_{h,\text{ср}}$ и C запишите в таблицу.

Измерьте ЭДС двух предложенных источников (\mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2). Для этого в схему компенсации (см. рис. 2.5.2) в качестве источника ЭДС \mathcal{E} включите исследуемый элемент. В каждом случае определите состояние компенсации не менее трех раз и в качестве \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 берите их средние значения.

Оцените погрешность измерений ЭДС. Считайте, что она обусловлена только погрешностью измерения l и l_h . Используя исходное соотношение (3) и основы теории погрешностей, убедитесь, что относительная погрешность измерения ЭДС в этом случае будет равна

$$\Delta\mathcal{E}/\mathcal{E} = \Delta l_h/l_h + \Delta l/l. \quad (6)$$

В качестве l_h и l берите соответствующие средние значения, а в качестве погрешностей этих значений — цену деления линейки (1 мм). Значения l_1 , $l_{1,\text{ср}}$, \mathcal{E}_1 , l_2 , $l_{2,\text{ср}}$, \mathcal{E}_2 внесите в таблицу.

Окончательные результаты измерения ЭДС запишите в виде

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{изм}}(1 \pm \delta_{\mathcal{E}}) = \mathcal{E}_{\text{изм}} \pm \Delta\mathcal{E}. \quad (7)$$

Задание 2. Измерение ЭДС батареи из двух источников.

А. Измерьте ЭДС \mathcal{E}_3 батареи, составленной из последовательно соединенных источников \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу, аналогичную предыдущей. Сравните результат с теоретическим расчетом.

Б. Проведите аналогичные измерения и вычисления ЭДС \mathcal{E}_4 батареи, состоящей из включенных навстречу друг другу источников \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 . Сравните результат с теоретическим расчетом.

Задание 3. Исследование зависимости полной и полезной мощности от сопротивления нагрузки.

Для получения экспериментальных кривых $P_{\text{полн}}(R)$ и $P_{\text{п}}(R)$ соберите цепь по схеме рис. 2.5.3. В качестве источника ЭДС используют два аккумулятора, соединенные последовательно. Так как внутреннее сопротивление аккумуляторов чрезвычайно мало, то за величину внутреннего сопротивления источника принимается значение дополнительного сопротивления $r_{\text{доп}}$.

Меняя внешнее сопротивление R (магазин сопротивлений), следует вы-

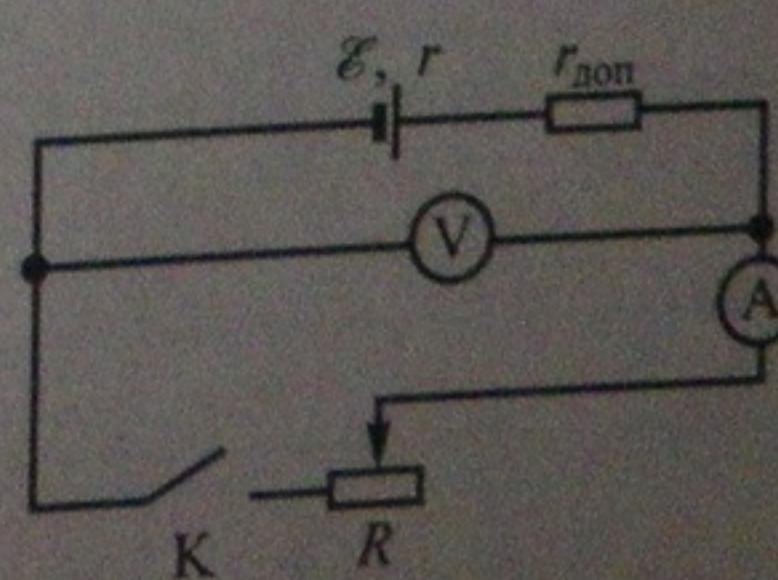


Рис. 2.5.3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.6

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА ТОКА НА УСТАНОВКЕ, ПОДКЛЮЧЕННОЙ К КОМПЬЮТЕРУ

Цель работы: ознакомление с измерительной компьютерной системой; определение ЭДС и внутреннего сопротивления источников тока; исследование зависимости КПД, полезной и полной мощности источника тока от сопротивления нагрузки.

Приборы и принадлежности: измерительный компьютерный блок, ПК, миллиамперметр, вольтметр, ключ, источники тока, набор постоянных и переменных резисторов.

Литература: [6, § 5.2, 5.5, 5.7]; [31, § 5.3—5.5]; [37, § 45]; [18, § 22, 70, 71, 195, 194, 197].

Введение

Измерение характеристик источника тока требует получения большого количества экспериментальных точек и значительного объема вычислений (см. лабораторную работу 2.5). Для ускорения измерений и облегчения вычислений в настоящей работе используется установка с компьютером.

Описание экспериментальной установки

На рис. 2.6.1 приведена схема лабораторной установки. Измерительный компьютерный блок (ИКБ) имеет два входа: В1 — для измерения напряжения, В2 — для определения тока в цепи. ИКБ преобразует соответствующие аналоговые сигналы (напряжения) в цифровые, а ПК вводит их в свою память для последующей обработки и управляет ИКБ.

Резистор R_1 используется для определения тока в цепи. Значение его сопротивления вводится в память ПК для вычисления тока в цепи.

Резистор R_0 ограничивает величину тока в цепи.

Два последовательно соединенных резистора R_2 и R_3 предназначены для плавного изменения тока в цепи. Перед началом измерения (ключ К разомкнут) ползуны этих резисторов

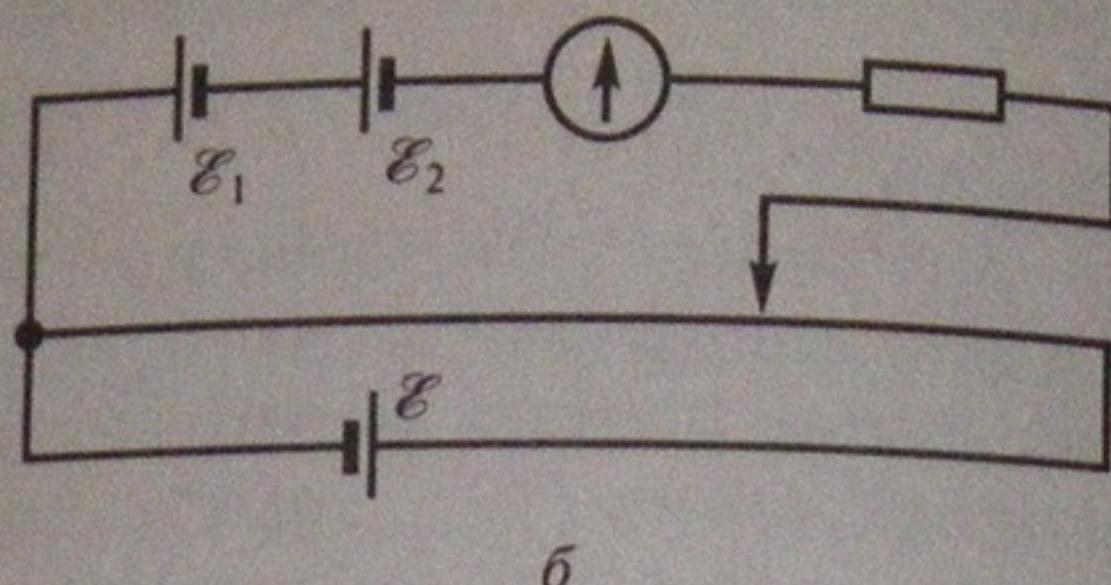
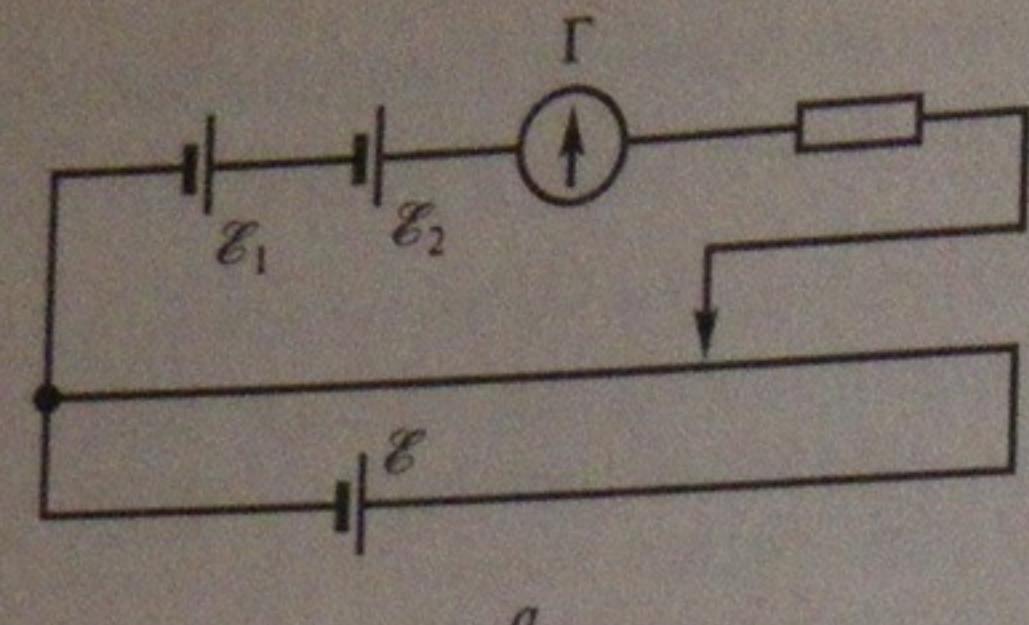


Рис. 2.5.4

бирать такие R , чтобы получить не менее двадцати значений силы тока. Число экспериментальных точек вблизи максимума мощности P_n должно быть значительно больше, чем вдали от этого максимума.

Значения \mathcal{E} , R , I , U , $P_{\text{полн}}$, P_n и η (КПД) запишите в таблицу. Постройте графики зависимостей $P_{\text{полн}}(R)$, $P_n(R)$ и $\eta(R)$.

Вопросы и упражнения

1. Что такое электродвижущая сила?
2. Можно ли скомпенсировать ЭДС, если $|\mathcal{E}_0| < |\mathcal{E}|$ (см. рис. 2.5.2)?
3. Одинаков ли множитель C для различных установок, имеющихся в лаборатории?
4. По какой схеме (а или б на рис. 2.5.4) следует включить источники \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 для выполнения задания 2, А? Какая разница между этими схемами?
5. По какой схеме (а или б на рис. 2.5.5) следует включить источники для выполнения задания 2, Б? Какая разница между этими схемами?
6. Как вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи из двух одинаковых источников, соединенных последовательно (параллельно)?
7. Пользуясь результатами измерений, проведенных при выполнении данной работы, найдите внутренние сопротивления использованных источников, считая их одинаковыми.
8. Как связаны между собой максимальные полная и полезная мощности для данного источника тока?
9. Выведите условие максимума полезной мощности.
10. Каков КПД цепи при максимальной полезной мощности?

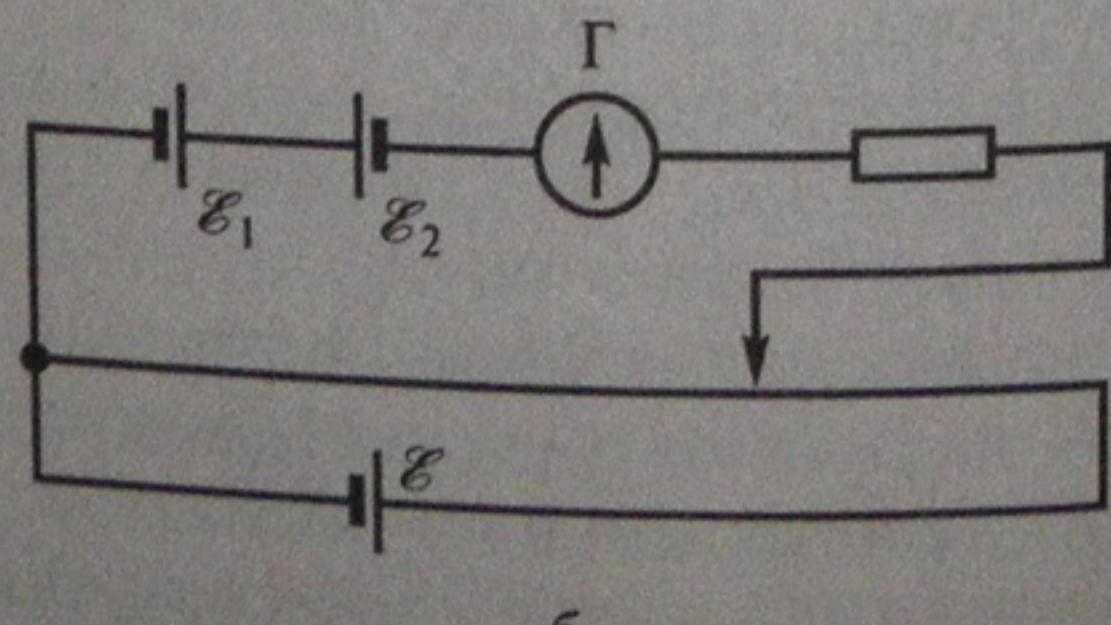
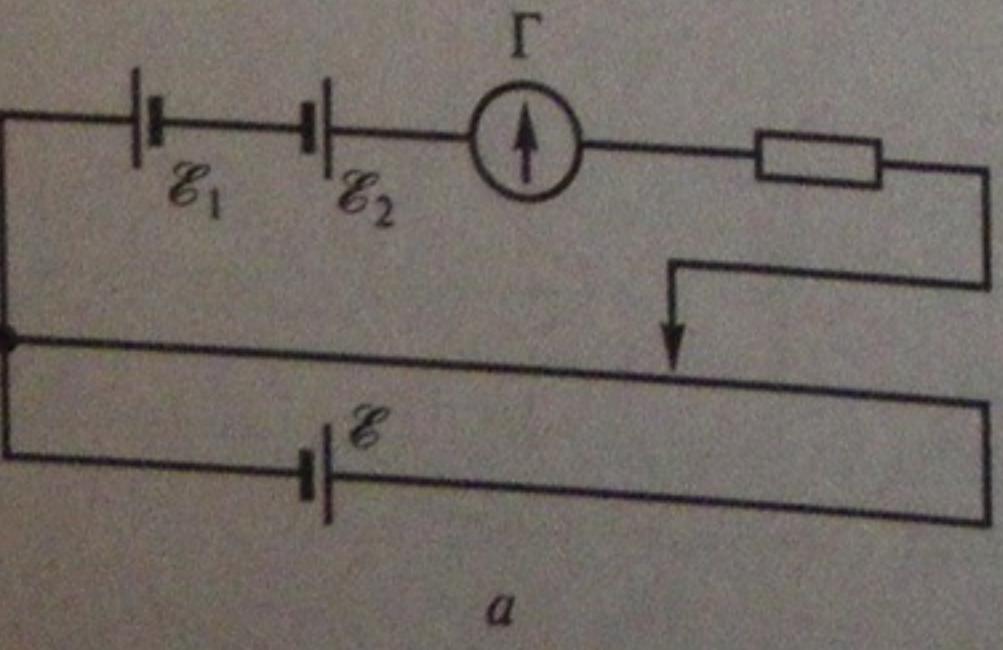


Рис. 2.5.5

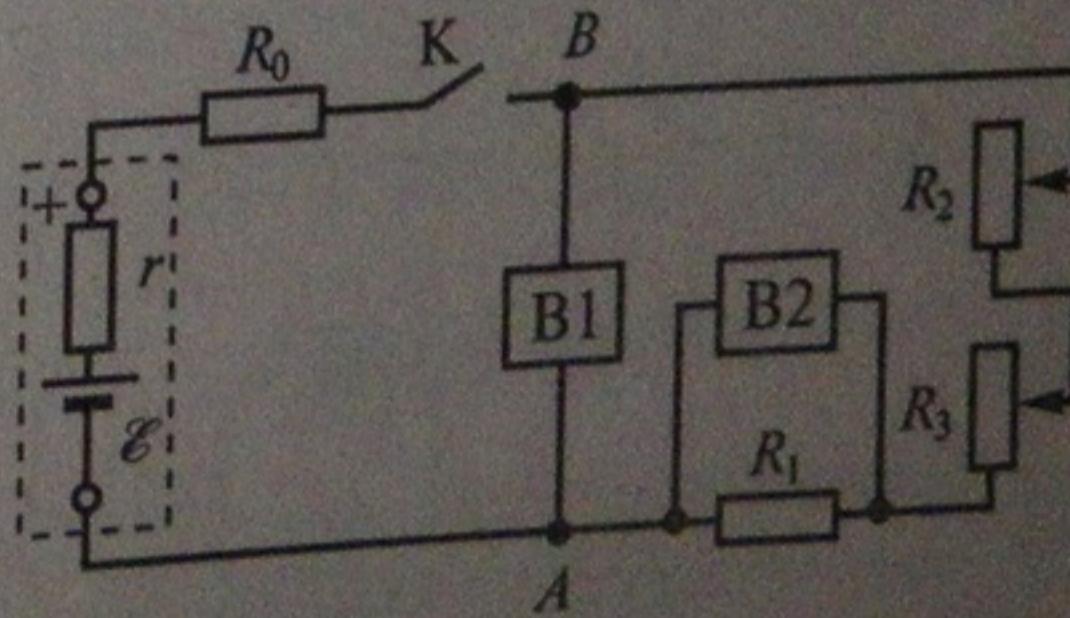


Рис. 2.6.1