

Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ
ИСТОЧНИКА ТОКА
КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

*Методические указания к лабораторной работе № 13 по курсу
«Физика» для студентов высших учебных заведений*

Екатеринбург
УрФУ
2015

УДК 53.082.07

Составители: Н. А. Зайцева, Ю. Г. Карпов, О. В. Михалева, Ф. А. Сидоренко

Научный редактор – проф. д-р физ.-мат.наук А. А. Повзнер

Определение электродвижущей силы источника тока компенсационным методом : методические указания к лабораторной работе № 13 / сост. Н. А. Зайцева, Ю. Г. Карпов, О. В. Михалева, Ф. А. Сидоренко. – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – 12 с.

В лабораторной работе № 13 изложен метод определения ЭДС источника тока компенсационным методом. В основе метода лежит сравнение ЭДС источника тока с разностью потенциалов на участке электрической цепи.

Данные методические указания предназначены для студентов всех специальностей всех форм обучения.

Подготовлено кафедрой физики

© Уральский федеральный
университет, 2015

Электродвижущая сила источника тока и ее определение компенсационным методом

Важной характеристикой источника тока является его электродвижущая сила, обозначаемая ε . По определению, она численно равна работе сторонних (не кулоновских) сил по переносу единичного положительного заряда внутри источника.

Напряжением на участке цепи называют физическую величину, равную суммарной работе, совершаемой кулоновскими и сторонними силами на этом участке,

$$U = \Delta\varphi + \varepsilon. \quad (1)$$

Так как $U = Ir$ (закон Ома), то при отсутствии тока через источник имеем

$$\varepsilon = |\Delta\varphi|. \quad (2)$$

Получаем, что электродвижущая сила равна разности потенциалов (не путать с напряжением!) между клеммами источника, по которому не идет ток. Ток через источник отсутствует, если цепь разомкнута или осуществлена компенсация электродвижущей силы за счет внешней разности потенциалов, созданной другим источником.

Метод измерения ЭДС, основанный на компенсации электродвижущей силы источника, приложенной к его полюсам внешней разностью потенциалов, называется компенсационным.

Необходимую для компенсации разность потенциалов получают с помощью потенциометра (делителя напряжения). Принципиальная схема потенциометра изображена на рис. 1. Вспомогательный источник тока замыкается на проводник с достаточно большим сопротивлением.

В проводнике возникает ток, и каждая точка проводника приобретает вполне определенный потенциал (в направлении от A к B потенциал понижается). Если U_{AB} – разность потенциалов между

концами A и B проводника, то разность потенциалов U_{AC} между точками A и C равна

$$U_{AC} = \frac{R_{AC}}{R_{AB}} U_{AB}, \quad (3)$$

где R_{AC} – сопротивление участка, R_{AB} – сопротивление проводника.

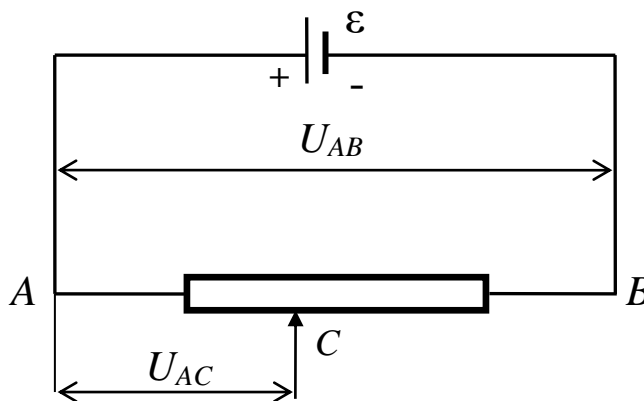


Рис. 1. Принципиальная схема потенциометра

Передвигая контакт C от точки A к B , можно получить любую разность потенциалов от 0 до U_{AB} (U_{AB} по абсолютной величине всегда меньше ЭДС вспомогательного источника).

Потенциометр представляет собой натянутую на изолирующую основу калиброванную проволоку, по которой может скользить контакт (такое устройство называется реохордом).

В данной работе используется реохорд, в котором однородная проволока намотана по цилиндрической спирали. Токосъемник скользит по спирали, поворачиваясь вокруг оси вращения на определенный угол. В этом случае длина проволоки на участке AC пропорциональна углу поворота токосъемника φ .

Принципиальная схема электрической цепи для измерения ЭДС компенсационным методом изображена на рис. 2. Данная схема позволяет определить ЭДС исследуемого источника без непосредственного измерения компенсирующей разности потенциалов. На рис. 2:

ε – вспомогательный источник тока, питающий потенциометр;

ε_x – исследуемый источник тока – гальванический элемент Грене;
 ε_N – источник с известной ЭДС – ртутно-кадмиевый нормальный элемент Вестона (ЭДС при 20 °С равна 1,0186 В);
 Γ – нуль-гальванометр;
 R – реостат, регулирующий ток в потенциометре;
 R_Γ – сопротивление, предохраняющее гальванометр от перегрузок в нескомпенсированной схеме;
 K_2 – переключатель для попеременного включения источников ε_x и ε_N ;
 ;
 K_1 – ключ для включения цепи;
 AB – реохорд (потенциометр). Используются как линейные, так и барабанные реохорды.

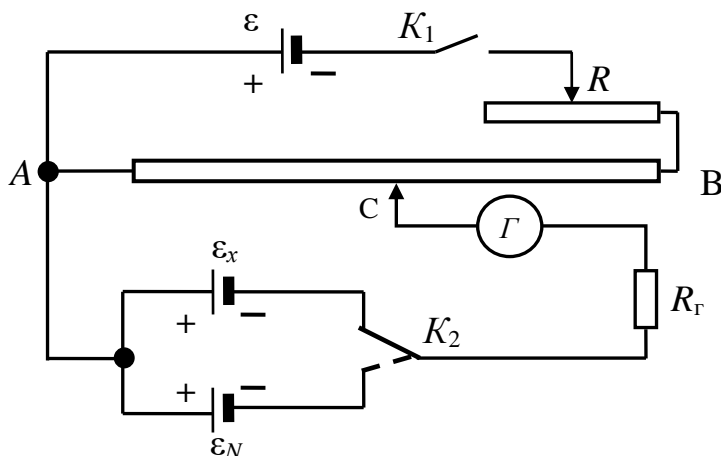


Рис. 2. Схема электрической цепи для измерения ЭДС

Сначала к потенциометру подключают исследуемый источник ε_x так, как это показано на схеме – «навстречу» источнику ε . Поворачивая токосъемник потенциометра, находят такое его положение C_x , при котором ток в гальванометре и, следовательно, в источнике ε_x отсутствует (необходимое и достаточное условие компенсации). По второму правилу Кирхгофа, для контура $AC_x\varepsilon_xA$ можно записать

$$IR_x = \varepsilon_x, \quad (4)$$

где R_x – сопротивление участка AC_x потенциометра; I – ток в этом участке.

Падение напряжения в этом контуре имеет место только на сопротивлении R_x .

Затем к потенциометру подключают источник ε_N с известной ЭДС (исследуемый источник при этом отключается). Вновь добиваются компенсации. По второму правилу Кирхгофа, для нового контура можно записать

$$IR_N = \varepsilon_N, \quad (5)$$

где R_N – сопротивление участка AC_N , соответствующего компенсации ε_N .

В условиях компенсации ток течет только по цепи, включающей потенциометр; величина его такова, как если бы компенсируемого источника вообще не было, т. е.

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{AB} + r}, \quad (6)$$

где R_{AB} – сопротивление потенциометра; r – внутреннее сопротивление вспомогательного источника.

Заметим также, что компенсация ε_x и ε_N возможна только в том случае, если ЭДС вспомогательного источника ε больше ε_x и ε_N (точнее, разность потенциалов $|U_{AB}| > |\varepsilon_x|$ и $|U_{AB}| > |\varepsilon_N|$).

Из формул (3) и (4) следует:

$$\varepsilon_x = \frac{R_x}{R_N} \varepsilon_N. \quad (7)$$

Таким образом, для определения ЭДС исследуемого источника тока необходимо знать ЭДС некоторого эталонного источника и отношение сопротивлений R_x и R_N . Если потенциометр представляет собой реохорд, то отношение $\frac{R_x}{R_N}$ можно заменить отношением длин

l_x и l_N , соответствующих этим сопротивлениям:

$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{l_x}{l_N}.$$

Подставляя это выражение в формулу (7),

$$\varepsilon_x = \frac{l_x}{l_N} \varepsilon_N \quad (8)$$

или

$$\varepsilon_x = \frac{\varphi_x}{\varphi_N} \varepsilon_N, \quad (9)$$

где φ_x и φ_N – соответствующие отсчеты угла поворота токосъемника потенциометра.

Рекомендации по выполнению лабораторной работы

При выполнении работы следует обратить внимание на то, что источники ε , ε_x и ε_N должны быть включены «навстречу» друг другу: к клемме А реохорда все источники подключаются одноименными полюсами.

1. Замкнуть ключи K_1 . Переключатель K_2 поставить в такое положение, при котором к потенциометру подключается источник ε_x . Поворачивая токосъемник потенциометра, добиться отсутствия тока через гальванометр. Записать в таблицу отсчет φ_x , соответствующий компенсации.

2. Подключить к реохорду нормальный элемент ε_N , для чего переключатель K_2 перевести в другое положение. Скомпенсировать нормальный элемент, записать соответствующее показание φ_N .

3. Не меняя ток в потенциометре, проделать те же измерения (п. 1 и п. 2) еще 4 раза. Результаты измерений занести в таблицу отчета (см. прил.).

4. Рассчитать результат и погрешность.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется электродвижущей силой источника тока? Разностью потенциалов на его полюсах? Каково соотношение между этими величинами?

2. Изложите физическую идею компенсационного метода измерения ЭДС.

3. Для чего служит потенциометр? Нарисуйте принципиальную схему потенциометра и объясните принцип его действия.

4. Какому требованию должен удовлетворять вспомогательный источник тока в компенсационной схеме? Как должны быть включены вспомогательный и источник тока с неизвестной ЭДС?

5. Выведите расчетную формулу для определения ЭДС исследуемого источника тока.

6. Какие требования следует предъявлять к проволоке для реохорда?

ФОРМА ОТЧЕТА

Титульный лист

УрФУ
кафедра физики
ОТЧЕТ

Определение электродвижущей силы источника тока
компенсационным методом

Студент(-ка) _____

Группа _____

Преподаватель _____

Дата _____

На внутренних страницах

1. Расчетная формула для определения величины ε_x :

$$\varepsilon_x = \frac{\varphi_x}{\varphi_N} \varepsilon_N,$$

где ε_N – ЭДС эталонного источника тока;

φ_x, φ_N – углы поворота токосъемника реохорда.

2. Схема электрической цепи.

3. Средства измерений и их характеристики:

Наименование средства измерения	Предел измерения или номинальное значение	Цена деления шкалы	Класс точности и	Предел основной погрешности
Реохорд высокоомный, круговая шкала				
Эталонный источник тока				

Объект исследования – элемент гальванический сухой.

4. Результаты измерений:

φ_{Ni} , град	$\varphi_{Ni} - \langle \varphi_{Ni} \rangle$, град	$(\varphi_{Ni} - \langle \varphi_{Ni} \rangle)^2$, град ²	φ_{xi} , град	$\varphi_{xi} - \langle \varphi_x \rangle$, град	$(\varphi_{xi} - \langle \varphi_x \rangle)^2$, град ²
1					
...					
5					

$$\langle \varphi_N \rangle = \dots \text{ град}; \quad \sum_{i=1}^5 (\varphi_{Ni} - \langle \varphi_N \rangle)^2 = \dots \text{ град}^2;$$

$$\langle \varphi_x \rangle = \dots \text{ град}; \quad \sum_{i=1}^5 (\varphi_{xi} - \langle \varphi_x \rangle)^2 = \dots \text{ град}^2.$$

5. Расчет искомой величины:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_N \frac{\varphi_x}{\varphi_N} = \dots \text{ В.}$$

6. Оценка доверительных границ погрешностей $\Delta\varepsilon_N, \Delta\varphi_x, \Delta\varphi_N$:

$$\Delta\varphi_x = \sqrt{\theta_{\text{очн}}^2 + \varepsilon_{nx}^2} = \dots \text{ град},$$

$$\Delta\varphi_N = \sqrt{\theta_{\text{очн}}^2 + \varepsilon_{nN}^2} = \dots \text{ град},$$

где $\theta_{nx} = \theta_{nN} = \theta_{\text{очн}}$ – систематические погрешности для реохорда.

$$\Delta\varepsilon_N = \varepsilon_N \frac{\delta}{100},$$

где δ – класс точности нормального элемента;

$$\varepsilon_{nx} = t_{P,n} S_{nx} = t_{P,n} \sqrt{\frac{\sum (\varphi_{ni} - \langle \varphi_x \rangle)^2}{n(n-1)}} = \dots \text{ об};$$

$$\varepsilon_{nN} = t_{P,n} S_{nN} = t_{P,n} \sqrt{\frac{\sum (\varphi_{Ni} - \langle \varphi_N \rangle)^2}{n(n-1)}} = \dots \text{ об},$$

где n – число наблюдений; $t_{P,n}$ – коэффициент Стьюдента.

7. Оценка границы погрешности результата измерения ЭДС ε_x :

$$\gamma = \frac{\Delta\varepsilon_x}{\varepsilon_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\varepsilon_N}{\varepsilon_N}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\varphi_x}{\varphi_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\varphi_N}{\varphi_N}\right)^2} = \dots;$$

$$\Delta\varepsilon_x = \gamma\varepsilon_x = \dots \text{ В.}$$

8. Окончательный результат:

$$\varepsilon_x = \langle \varepsilon_x \rangle \pm \Delta\varepsilon_x = \dots \text{ В} \quad \text{при } P = 0,95.$$

9. Выводы.

Учебное издание

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ ИСТОЧНИКА
ТОКА
КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

Составители: **Зайцева** Наталия Анатольевна,
Карпов Юрий Григорьевич,
Михалева Ольга Владимировна,
Сидоренко Феликс Аронович
Редактор *В.О. Корионова*
Компьютерный набор *Н. Н. Суслиной*

Подписано в печать Формат 60×90 1/16.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 1,0.
Уч.-изд. л. 0,44. Тираж 100 экз. Заказ _____ .

Издательство Уральского университета
Редакционно-издательский отдел ИПЦ УрФУ
620049, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 5
Тел.: +7 (343) 375-48-25, 375-46-85, 374-19-41
E-mail: rio@urfu.ru

Отпечатано в Издательско-полиграфического центре УрФУ
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
E-mail.: press.info@usu.ru