

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 2
Измерение ЭДС
гальванических элементов
методом компенсации

Ярославль
2008

Оглавление

1. Цель работы	3
2. Подготовка к лабораторной работе	3
3. Краткая теория	4
4. Описание экспериментальной установки	9
5. Выполнение лабораторной работы	11
6. Содержание отчета	13

Лабораторная работа № 2

Измерение ЭДС гальванических элементов методом компенсации

1. Цель работы

1. Изучить компенсационный метод измерения ЭДС.
2. Теоретически и экспериментально уяснить необходимость применения компенсационного метода для измерения ЭДС маломощных источников тока.
3. Приобрести навыки в производстве измерений компенсационным методом и количественной оценки точности результатов измерений.

2. Подготовка к лабораторной работе

1. Уясните цель и содержание работы.
2. Изучите рекомендуемую литературу:
 - Р.В. Телеснин и В.Ф. Яковлев "Курс физики", Электричество. М., 1970 г.; §§ 41; 47; 57; 58.
 - С.Г. Калашников Электричество. М. 1970 г. §§ 64, 67, 68, 69, 70. (примеры 2 и 3), 22.
 - настоящее руководство к лабораторной работе.
3. Дайте ответы на контрольные вопросы:
 - Что такое электродвижущая сила?
 - Чем отличаются друг от друга мощные и маломощные источники тока?
 - Почему ЭДС маломощного источника тока нельзя точно измерить вольтметром?

-
- Что можно сказать о точности измерения ЭДС мощного источника тока с помощью вольтметра? Влияют ли параметры вольтметра (его внутреннее сопротивление) на точность измерений?
 - В чем заключается сущность компенсационного метода измерения ЭДС? Может ли компенсационный метод применяться для измерения напряжений?
 - Какова погрешность метода измерения напряжений с помощью вольтметра и от чего зависит её величина? Существуют ли такие погрешности для компенсационного метода измерений?
4. Изучите принципиальную схему лабораторной установки, ознакомьтесь с приданными к ней приборами, уясните назначение элементов схемы и методику измерений.
 5. Повторите правила техники безопасности.

3. Краткая теория

Рассмотрим схему электрической цепи, содержащей источник тока с ЭДС ε и внутренним сопротивлением R_i , к которому подключён резистор R (см. рис. 3.1).

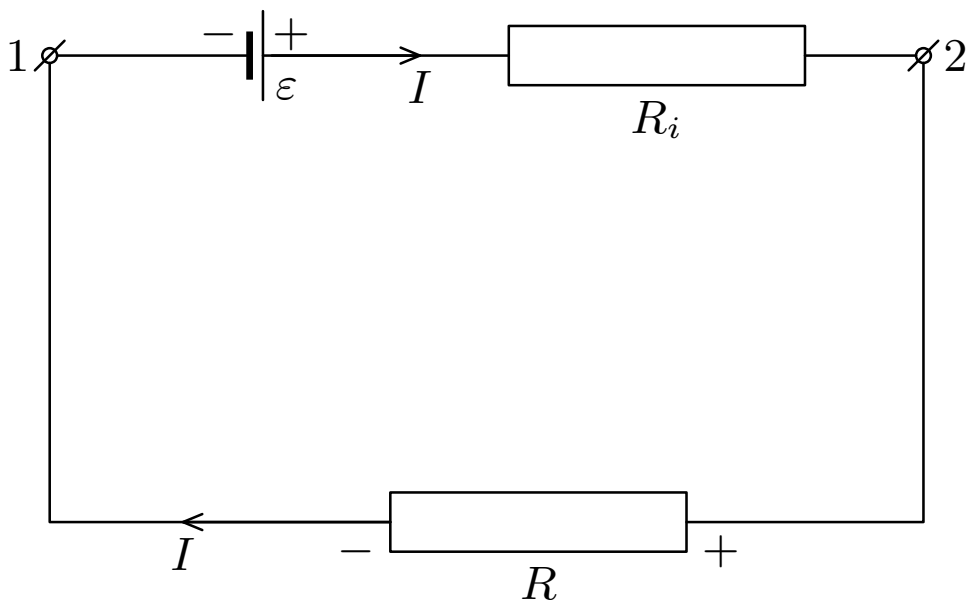


Рис. 3.1

Участок цепи с источником тока будем называть внутренним, а участок с резистором — внешним.

Для выбранного направления обхода контура на основании обобщённого закона Ома справедливы соотношения:

А. для внутреннего участка цепи:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varepsilon = IR_i \quad (3.1)$$

или

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \varepsilon - IR_i; \quad (3.2)$$

Б. для внешнего участка цепи:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = IR, \quad (3.3)$$

где φ_1 и φ_2 — потенциал точек 1 и 2 соответственно.

Подставляя (3.3) в (3.2), получим:

$$IR = \varepsilon - IR_i. \quad (3.4)$$

Из соотношения (3.4) непосредственно вытекает закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + R_i} \quad (3.5)$$

Обозначим $IR = \varphi_2 - \varphi_1 = U$, где U — разность потенциалов на полюсах источника тока. Тогда выражение (3.4) принимает вид

$$U = \varepsilon - IR_i. \quad (3.6)$$

Из выражения (3.6) непосредственно следует, что при наличии тока ($I \neq 0$) разность потенциалов на полюсах источника тока всегда меньше его ЭДС на величину падения потенциала на его внутреннем сопротивлении (IR_i). И только в частном случае разомкнутой цепи ($I = 0$) разность потенциалов на полюсах источника тока равна его ЭДС ($U = \varepsilon$).

Естественно возникает вопрос о способах измерения ЭДС источника тока.

Можно ли измерить ЭДС источника тока, подключив к его полюсам вольтметр, отклонение стрелки которого обусловлено током, проходящим по рамке (катушке) его измерительного механизма? (см. рис. 3.2)

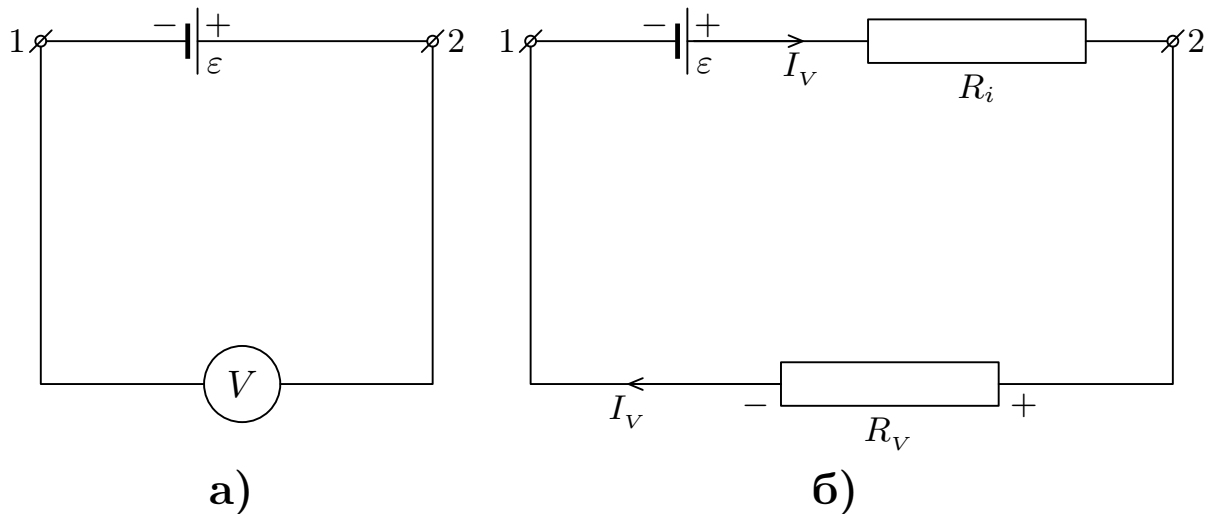


Рис. 3.2

На рис. 3.2а показана схема измерительной цепи на рис. 3.2б ее эквивалентная схема, на которой использованы следующие обозначения:

I_V — ток вольтметра;

R_V — сопротивление рамки измерительного механизма вольтметра (сопротивление вольтметра).

Сравнивая рисунки 3.1 и 3.2б, заключаем что $I = I_V$; $R = R_V$. Следовательно, и $U = U_V$. Таким образом, вольтметр измеряет не ЭДС источника тока, а разность потенциалов на его полюсах:

$$U_V = \varepsilon - I_V R_i, \quad (3.7)$$

$$I_V = \frac{\varepsilon}{R_V + R_i}. \quad (3.8)$$

Из выражения (3.7) и (3.8) следует, что вольтметры с разным R_V подключённые к одному и тому же источнику, покажут неодинаковую разность потенциалов между его полюсами. При этом, чем выше сопротивление вольтметра, тем ближе его показания к величине ЭДС источника тока однако всегда:

$$U_V < \varepsilon.$$

Таким образом, с помощью рассмотренного типа токопроводящего вольтметра принципиально нельзя точно измерить ЭДС источника тока.

При отсутствии тока ЭДС равна разности потенциалов на полюсах источника:

$$U = \varepsilon.$$

Поэтому ЭДС источника может быть измерена вольтметрами, которые не вызывают появления тока в измерительной цепи, т.е. принцип действия которых не связан с движением зарядов. Примером такого типа вольтметра является электростатический вольтметр.

Однако наиболее точным методом измерения ЭДС является метод компенсации. Этот метод заключается в том, что подлежащая измерению ЭДС уравнивается (компенсируется) известным напряжением так, что ток через исследуемый источник становится равным нулю.

Компенсационный метод измерения ЭДС источника тока в принципе может быть реализован с помощью электрической цепи, схема которой приведена на рис. 3.3.

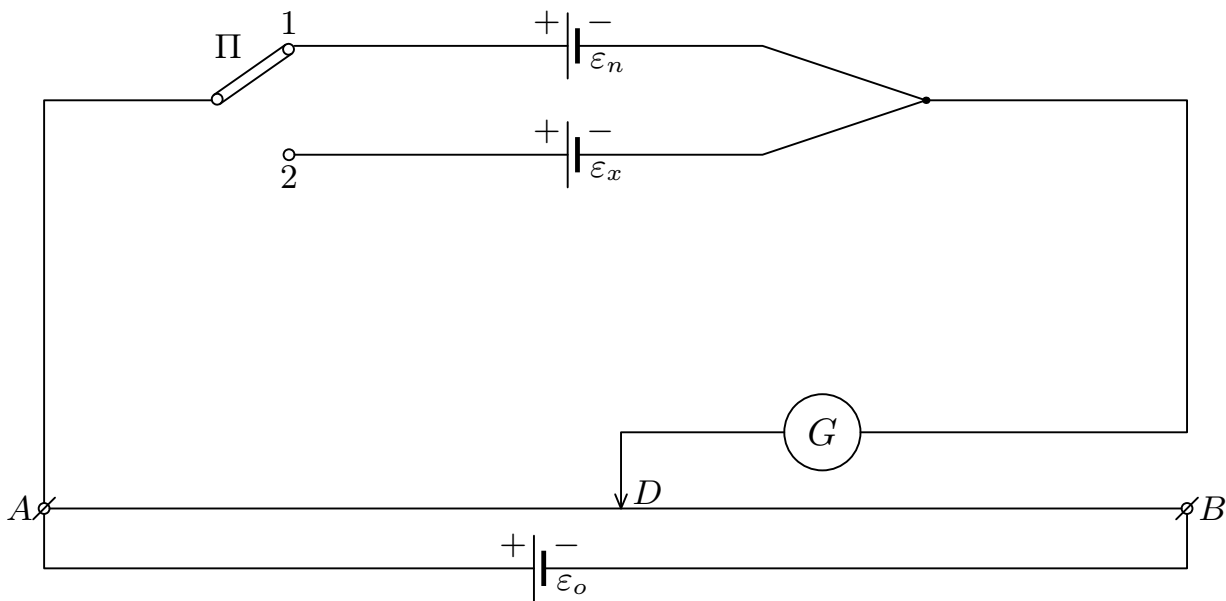


Рис. 3.3

В состав схемы входят:

1. Источник постоянного тока с ЭДС ε_o .
2. Реохорд (однородный проводник AB в виде струны, укрепленный на панели с измерительной линейкой и подвижным контактом D).
3. Гальванометр G с нулем на середине шкалы.
4. Нормальный элемент Вестона с известной ЭДС ε_n .
5. Исследуемый гальванический элемент с неизвестной ЭДС ε_x .

6. Переключатель Π с помощью которого ε_n и ε_x поочередно включаются в схему компенсации.

Источники ε_o и ε_n (ε_x) включены одноименными полюсами навстречу друг другу, причем $\varepsilon_o > \varepsilon_n$ (ε_x). При этом разность потенциалов на реохорде также превосходит ЭДС источников ε_n и ε_x . Последнее позволяет подобрать такое положение движка на реохорде, при котором разность потенциалов U_{AD} окажется равной одной ЭДС ε_n или ε_x , поочередно включаемых в схему переключателем Π . При этом ток в цепи гальванометра G окажется равным нулю, так как вследствие встречного включения ЭДС ε_n или ε_x компенсируется соответствующей разностью потенциалов U_{AD} .

В положениях **1** переключателя Π компенсация имеет место, если

$$U_{AD_n} = \varepsilon_n. \quad (3.9)$$

Здесь

$$U_{AD_n} = IR_{AD_n} = I\rho \frac{\ell_{AD_n}}{S},$$

где R_{AD_n} — сопротивление части струны реохорда,
 ρ — удельное сопротивление струны реохорда,
 S — площадь поперечного сечения струны реохорда,
 ℓ_{AD_n} — длина части струны реохорда между точкой A и движком D , положение которого соответствует условию компенсации ЭДС.

В положении **2** переключателя Π компенсация наступает при условии:

$$U_{AD_x} = \varepsilon_x. \quad (3.10)$$

Здесь

$$U_{AD_x} = IR_{AD_x} = I\rho \frac{\ell_{AD_x}}{S},$$

4. Описание экспериментальной установки

- где R_{AD_x} — сопротивление части струны реохорда,
 ℓ_{AD_x} — длина части струны реохорда между точками A и движком D , положение которого соответствует условию компенсации ЭДС,
 I — сила тока в струне реохорда, значение которой определяется только полным сопротивлением струны реохорда R_{AB} и параметрами вспомогательного источника тока с ЭДС ε_o , так как в обоих положениях переключателя Π при условии компенсации ток в цепь гальванометра не ответвляется.

Поэтому

$$I = \frac{\varepsilon_n}{\rho \ell_{AD_n}} \cdot S,$$
$$\varepsilon_x = I \rho \frac{\ell_{AD_x}}{S} = \frac{\varepsilon_n \cdot S}{\rho \ell_{AD_n}} \cdot \rho \frac{\ell_{AD_x}}{S} = \varepsilon_n \frac{\ell_{AD_x}}{\ell_{AD_n}}.$$

Обозначим $\ell_{AD_x} = \ell_x$, $\ell_{AD_n} = \ell_n$.

Тогда

$$\varepsilon_x = \varepsilon_n \frac{\ell_x}{\ell_n}. \quad (3.11)$$

Таким образом измерение ЭДС сводится к измерению длин соответствующих условию компенсации участков реохорда. При этом результат измерения не зависит от параметров вспомогательного источника тока с ЭДС ε_o , сопротивлений реохорда и соединительных проводов, градуировки шкалы гальванометра, так как он используется не для измерения тока, а для установки его отсутствия. Требуется лишь достаточно высокая чувствительность гальванометра, постоянство ЭДС вспомогательного источника тока в течение времени измерения ($\varepsilon_o = const$) и однородность струны реохорда вдоль ее оси.

4. Описание экспериментальной установки

Принципиальная схема установки представлена на рис. 4.1.

В состав установки входят:

- источник постоянного тока В5-46 с ЭДС ε_o ;
- нормальный элемент Вестона ε_n с ЭДС = 1,0183 В, при $t = 20^\circ\text{C}$;
- исследуемые гальванические элементы с ЭДС ε_{x_1} и ε_{x_2} ;
- высокочувствительный гальванометр G с нулем на середине шкалы;
- реохорд P с движком D , длина струны реохорда 100 см;
- выключатель двухполюсный B_1 служащий для подключения к реохорду источника ε_o и элементов ε_n и ε_x , исходное положение выключателя — положение **1**;
- кнопка Kn с резистором R_1 , резистор R_1 включен в цепь гальванометра и служит для уменьшения тока протекающего через гальванометр при грубой установке стрелки гальванометра на ноль. Кроме этого резистор служит для защиты нормального элемента от перегрузки. Кнопка Kn предназначена для шунтирования резистора R_1 при точной установке стрелки гальванометра на ноль, при этом повышается точность измерения.

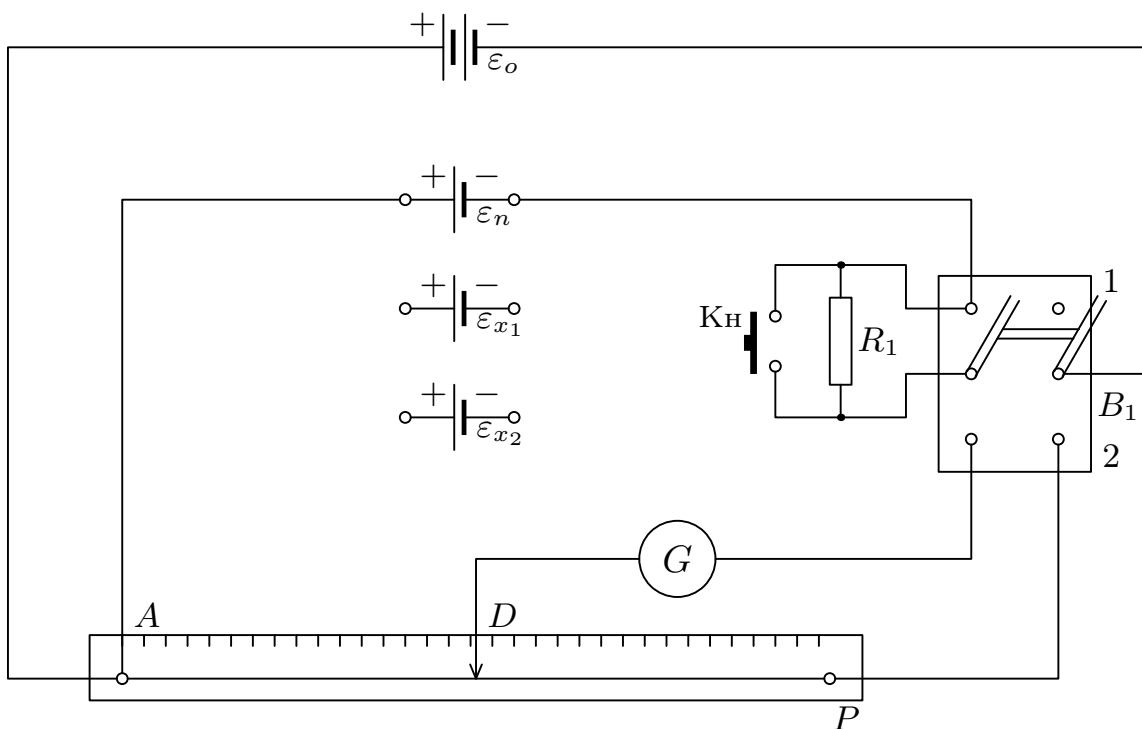


Рис. 4.1

5. Выполнение лабораторной работы

Собрать схему лабораторной установки и установить движок реохорда D на отметке 10–15 см. Собранную схему дать проверить преподавателю и получить разрешение на проведение измерений.

1. Включить источник В5-46 с ЭДС ε_0 .
2. Замкнуть выключатель B_1 в положение **2**. При этом стрелка гальванометра G отклонится в ту или в другую сторону.
3. Перемещая движок реохорда D , установить стрелки гальванометра G на ноль (грубо). Нажать кнопку Kn и установить стрелку гальванометра G на ноль (точно). При этом положении движка соблюдается условие компенсации ($U_{AD} = \text{ЭДС } \varepsilon_n$). Выключатель B_1 перевести в положение **1**, отсчитать длину участка реохорда ℓ_n (в мм) и записать в таблицу 1 (стр. 12),

где k — номера измерений, оказавшихся промахами,
 j — число промахов.

Измерения провести не менее 7 раз по выше изложенной методике, предварительно смещая движок реохорда от установленного ранее значения в ту или в другую сторону.

4. Отсоединить элемент Вестона и подсоединить вместо него исследуемый элемент с ЭДС ε_{x_1} . По методике изложенной в пунктах 2, 3 найти условие компенсации для ε_{x_1} ($U_{AD} = \varepsilon_{x_1}$). Записать в таблицу 1 длину участка струны реохорда ℓ_{x_1} , соответствующую условию компенсации неизвестной ЭДС гальванического элемента ε_{x_1} .

Измерения провести не менее 7 раз, предварительно смещая движок реохорда от установленного ранее положения в ту или в другую сторону.

5. Аналогичным образом провести измерения с элементом ε_{x_2} .
6. Измерить длину струны реохорда (ℓ_{x_3}), соответствующую условию компенсации от двух последовательно соединенных элементов ($\varepsilon_{x_1} + \varepsilon_{x_2}$).

Для этого соединить последовательно два исследуемых элемента с ЭДС ε_{x_1} , и ЭДС ε_{x_2} , установить движок реохорда D на отметку 60-70 см и произвести измерения по методике изложенной в пунктах 2, 3. Результаты записать в таблицу № 1.

Таблица 1

$x =$; $\varepsilon_n =$ [B]						
i	l_n [мм]	l_{x_i} [мм]	$\varepsilon_{x_i} = \varepsilon_n \frac{l_{x_i}}{l_n}$	$\Delta\varepsilon_{x_i} = \bar{\varepsilon}_x - \varepsilon_{x_i}$ [B]		$\Delta\varepsilon_{x_i}^2$ [B ²]
				+	-	
1						
2						
3						
⋮						
7						
$n = 7$	$k =$	$\bar{\varepsilon}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_{x_i} =$ [B]	$\sum \Delta\varepsilon_{x_i} = +$	$\sum \Delta\varepsilon_{x_i} = -$	$\sum_{i=1}^n \Delta\varepsilon_{x_i}^2 =$	
	$j =$					$\sum_{i=1}^n \Delta\varepsilon_{x_i} =$

Произвести статистическую обработку результатов измерений.

Рассчитать теоретическое значение ЭДС батареи из двух гальванических элементов по формуле

$$\varepsilon_{x_{3r}} = \varepsilon_{x_1} + \varepsilon_{x_2} \cdot \quad (5.12)$$

Сопоставить результаты измерений и теоретического расчета ЭДС батарей из 2^x гальванических элементов и сделать заключение о справедливости формулы (5.12).

Измерить с помощью 2^x вольтметров разность потенциалов на полюсах гальванических элементов. Оценить погрешности прямых измерений.

Технические характеристики вольтметров записать в таблице № 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование прибора	Заводской номер	Системы измерит. мех-ма	Класс точности	Предел измерений	Абсо- лютная	внутреннее сопротивление прибора
1							
2							

Представить преподавателю для проверки результаты измерений и расчетов.

6. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Принципиальная схема установки.
3. Перечень использованных приборов и их технические данные.
4. Таблица экспериментальных данных.
5. Данные расчетов, измерений и сопоставление с анализом полученных результатов.
6. Дата выполнения работы и подпись исполнителя.