

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Отчёт по лабораторной работе № 205
«Измерение ЭДС»

Выполнили:

Студенты 2 курса, ВШОПФ

Зинягин Алексей

Мурзина Полина

2022 г.

Дата допуска: 21.09.22 г.

Дата лабораторной работы: 21.09.22 г.

Дата отчета: 01.10.22 г.

Оборудование: нуль-гальванометр, источник питания, эталонная ЭДС (нормальный элемент типа НЭ-65 класса 0,005), резисторы R1 и R2, защитный резистор R3, батарейка.

Цель работы: измерить ЭДС с помощью вольтметра и компенсационным методом, определить, какой из методов наиболее точный, сравнить погрешности измерений.

Теоретические обоснования.

Электродвижущей силой (ЭДС) на участке цепи 1-2 называется работа сторонней силы, совершаемая при перемещении по этому участку единичного положительного заряда:

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 E_l^{\text{ст}} dl \quad (1),$$

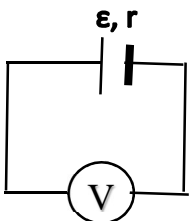
где $\vec{E}^{\text{ст}}$ – напряженность поля сторонних сил. Под действием сторонних сил может происходить разделение зарядов, из-за чего возникает электростатическое поле $\vec{E}^{\text{к}}$. Работа, совершаемая кулоновской силой при перемещении единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2, есть разность потенциалов между этими точками:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E_l^{\text{к}} dl \quad (2)$$

Так же на носители тока в проводниках действуют силы сопротивления, пропорциональные скорости упорядоченного движения зарядов. Работа этой силы, отнесенная к единичному заряду, равна произведению силы тока I на сопротивление участка цепи R_{12} . Поскольку заряды движутся равномерно, алгебраическая сумма кулоновских, сторонних и сил сопротивления равна нулю. Следовательно, на любом участке цепи выполняется закон Ома:

$$IR_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12} \quad (3)$$

Измерение ЭДС с помощью вольтметра.



Подключим вольтметр с сопротивлением R_v к батарее с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r . Тогда показания вольтметра:

$$U = IR_v = \frac{\varepsilon R_v}{R_v + r} \quad (4)$$

Рис. 1. Измерение ЭДС при

помощи вольтметра будут отличаться от ε на величину: $\varepsilon - U = Ir = \frac{\varepsilon r}{R_v + r} \quad (5)$

При $R_v \gg r$, относительная ошибка измерения ЭДС δE становится малой и примерно равна:

$$\delta\varepsilon \approx \frac{r}{R_v} (6)$$

Но при использовании более точных вольтметров такое измерение дает заметную ошибку. Чтобы получить более точные измерения, воспользуемся методом компенсации.

Измерение ЭДС методом компенсации.

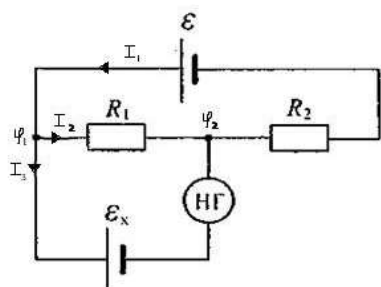


Рис. 2. Измерение ЭДС при помощи компенсации

ε_x – неизвестная ЭДС, которую мы хотим измерить, ε – ЭДС источника питания ($\varepsilon > \varepsilon_x$), R_2 , R_1 – сопротивления, НГ – нуль-гальванометр.

Чтобы измерить неизвестную ЭДС, необходимо, подбирая R_1 добиться обращения в ноль тока через нуль-гальванометр (I_3) при неизменной сумме:

$$R_1 + R_2 = R = \text{const} (7)$$

Чтобы найти ток через нуль-гальванометр, запишем 1-ое и 2-ое правило Кирхгофа:

$$I_1 = I_2 + I_3 (8)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_x = -I_3 r + I_2 R_1 \\ \varepsilon = I_2 R_1 + I_1 R_2 \end{cases} (9)$$

Выразим из первого уравнения системы в формуле (9) I_2 и подставим во второе уравнение системы, учитывая формулу (8), получим:

$$\varepsilon = \varepsilon_x + I_3(r + R_2) + \frac{\varepsilon_x + I_3 r}{R_1} R_2 \quad | * R_1$$

$\varepsilon R_1 = \varepsilon_x(R_1 + R_2) + I_3(rR_1 + R_1R_2 + rR_2)$, учитывая формулу (7), получим:

$$I_3 = \frac{\varepsilon R_1 - \varepsilon_x R}{rR + R_1 R_2} (10)$$

Из условия $I_3 = 0$ выражаем ε_x , считая, что R_{1x} – значение R_1 , при котором выполняется условие компенсации.

$$\varepsilon_x = \frac{R_{1x} \varepsilon}{R} (11)$$

Чтобы найти неизвестную нам ЭДС, подключим вместо ε_x эталонную ЭДС ε_N . Аналогично получаем условие компенсации с компенсационным значением сопротивления $R_1 - R_{1N}$:

$$\varepsilon_N = \frac{R_{1N} \varepsilon}{R} (12)$$

Из уравнения (10) - (11) получаем значение неизвестной ЭДС:

$$\varepsilon_x = \frac{R_{1x} \varepsilon_N}{R_{1N}} (13)$$

Экспериментальная часть.

1. В паспорте нормального элемента типа НЭ-65 указано его ЭДС при $t=20^{\circ}\text{C}$:

$$\varepsilon_{N20} = 1,018565\text{В}$$

При проведении эксперимента температура в комнате была равна $t=25^{\circ}\text{C}$, поэтому нам необходимо пересчитать значение эталонной ЭДС по эмпирической формуле:

$$\varepsilon_N = \varepsilon_{N20} - (40,6(t - 20) + 0,95(t - 20)^2)10^{-6}$$

$$\varepsilon_N = 1,018565 - (40,6 * 5 + 0,95 * 25)10^{-6} = 1,01834\text{ В}$$

2. Измерим с помощью вольтметра

$$\varepsilon_x = (1,41 \pm 0,001)\text{В}$$

3. Измерим теперь методом компенсации

Предварительно оценим R_{1N} , R_{1x} для $\varepsilon=3,01\text{ В}$, $\varepsilon=6,03\text{ В}$ и $R = 11111\text{ Ом}$ по формулам, занеся результаты в таблицу 1, чтобы обезопасить нуль-гальванометр:

$$R_{1N} = \frac{\varepsilon_N}{\varepsilon} R, R_{1x} = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon} R$$

$\varepsilon, \text{В}$	$\varepsilon_N, \text{В}$	$R_{1N}, \text{Ом}$	$R_{1x}, \text{Ом}$
3,01	1,01834	3759	5204,8
6,03		1876,4	2598,1

Таблица 1.

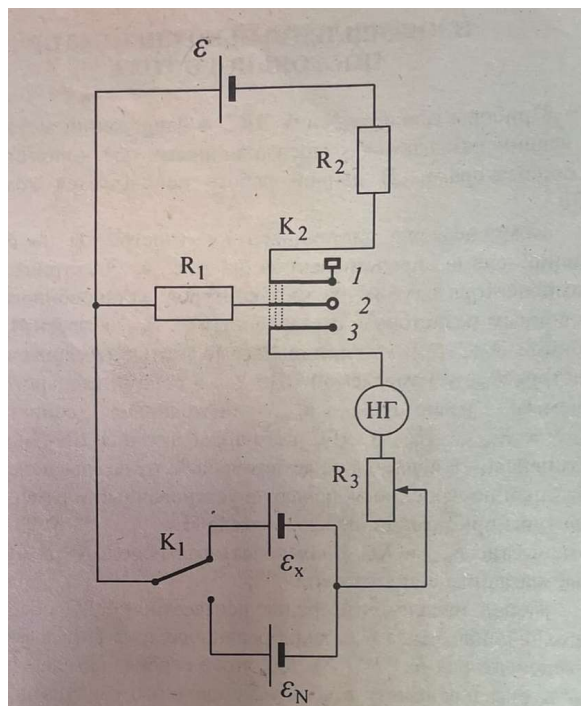


Рис.3

С помощью метода компенсации определим ε_x , предварительно собрав схему, изображенную на рис.3. Обозначим R^{-1} – значение сопротивления, при котором стрелка нуль-гальванометра отклоняется на одно деление влево от нулевого значения при замыкании всей цепи, R^{+1} – вправо, а R^0 – стрелка находится на нулевом значении. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

$\varepsilon, \text{В} \backslash R, \text{Ом}$	R_N^0	R_N^{-1}	R_N^{+1}	R_X^0	R_X^{-1}	R_X^{+1}	$\varepsilon_x, \text{В}$
3,01	3765,1	3757	3771	5155	5149	5160	$1,394 \pm 2,45 \cdot 10^{-3}$
6,03	1867,1	1864,1	1870,1	2576	2573,3	2579,4	$1,41 \pm 2,3 \cdot 10^{-3}$

Таблица 2.

Таким образом, ЭДС методом компенсации $\varepsilon_x = (1,402 \pm 2,4 \cdot 10^{-3}) \text{ В}$, что отличается от измерений с помощью вольтметра. Такое расхождение могло произойти из-за использования эталонного ЭДС, так как за долгое время его использования могли произойти изменения в его внутренней структуре, мы можем и не получать заявленного напряжения источника. Ещё одна вероятная причина неточностей, на наш взгляд, связана с неточной установкой резисторов. В ходе работы мы не раз наблюдали, что для изменения сопротивления достаточно всего лишь повернуть одну из «ручек». Но этот метод имеет свои плюсы, так как точность измерения ограничивается ценой деления гальванометра (10^{-5} А). Градуировка его шкалы и величина ε (ЭДС источника питания) не входит в результаты измерений.

Выводы.

Мы провели измерения ЭДС двумя методами: 1) с помощью вольтметра $\varepsilon_x = (1,41 \pm 0,001) \text{ В}$ и 2) компенсационным $\varepsilon_x = (1,402 \pm 5,5 \cdot 10^{-3}) \text{ В}$.