

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

Парфенов Ярослав

Кульшин Даниил

2022 г.

Дата допуска: 06.09.22 г.

Дата отчета: 13.09.22 г.

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

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:

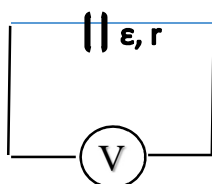


Рис. 1. Измерение ЭДС при помощи вольтметра

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

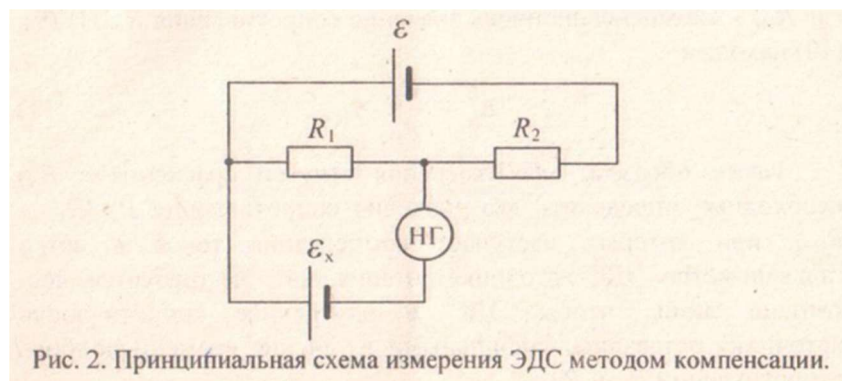
будут отличаться от ε на величину: $\varepsilon - U = Ir = \frac{\varepsilon r}{R_v + r} \quad (5)$

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

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

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

Измерение ЭДС методом компенсации.



ε_x – неизвестная ЭДС, которую мы хотим измерить, ε – ЭДС источника питания ($\varepsilon > \varepsilon_x$), R_2 , R_1 – сопротивления, НГ – нуль-гальванометр (прибор, который показывает с высокой точностью течет ли ток через участок цепи).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Практическая 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 $t=23^\circ\text{C}$, поэтому нам необходимо пересчитать значение эталонной ЭДС по эмпирической формуле:

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

$$\varepsilon_N = 1,018565 - (40,6 * 3 + 0,95 * 9)10^{-6} = 1,01843\text{ В}$$

2. Измерение при помощи вольтметра

$$\varepsilon_x = (1,41 \pm 0,016)\text{В}$$

3. Измерим теперь методом компенсации

Предварительно оценим R_{1N}, R_{1x} для $\varepsilon=3,01\text{ В}$, $\varepsilon=6,00\text{ В}$ и $R = 11111\text{ Ом}$ по формулам, занеся результаты в таблицу 1, чтобы обезопасить нуль-гальванометр:

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

ε , В	ε_N , В	R_{1N} , Ом	R_{1x} , Ом
3,01	1,01834	3770,3	5204,8
6,00		1885,2	2611,1

Таблица 1.

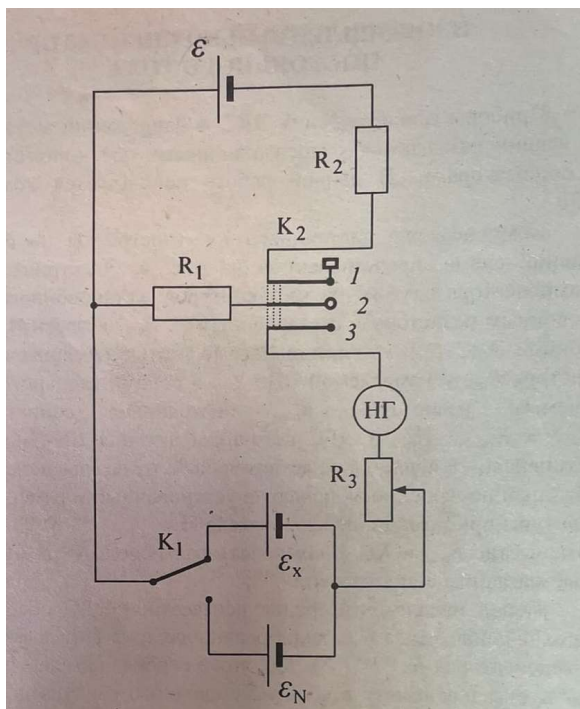


Рис.3

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.

ε , В $\backslash R$, Ом	R_X^{+1}	R_X^0	R_X^{-1}	R_N^{+1}	R_N^0	R_N^{-1}	ε_x , В
3,01	5090	5091	5097	3710	3725	3730	1,3919
6,00	2577	2578	2584	1883	1885	1888	1,3928

Таблица 2.

Таким образом, ЭДС методом компенсации $\varepsilon_x = (1,39 \pm 2 \cdot 10^{-3})$ В, что отличается от измерений с помощью вольтметра.

Расхождения могли произойти из-за ряда причин.

1) Лабораторная работа была проведена при 23 градусах Цельсия, следовательно, ЭДС эталонной батарейки отличается от табличной.

2) Основной вклад в погрешность дает вольтметр, но при измерении методом компенсаций, мы его не учитываем. Также не учитывается погрешность источника тока, так как он выдает стабильное напряжение, а точное значение этого напряжения при измерении данным методом нам не важно.

3) При измерении ЭДС методом компенсаций основной вклад в величину погрешности дает погрешность резисторов.

Выводы.

Мы провели измерения ЭДС двумя методами:

1) с помощью вольтметра $\varepsilon_x = (1,41 \pm 0,016) \text{ В}$

2) методом компенсаций $\varepsilon_x = (1,39 \pm 2 * 10^{-3}) \text{ В}$.