Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

Лабораторная работа №2-1

Измерение э. д. с. методом компенсации на реохорде

Руководитель:
Старший преподаватель КОиЭФ
Абдрашитов С. В.
Работу выполнили:
Левин Н. Н.
Высоцкий М. Ю.
гр. 052101

Томск, 2022

1 Теоретическое введение

Цель работы: изучение компенсационного метода измерения электродвижущей силы (ЭДС).

Электродвижущая сила (ЭДС) - скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних сил. В общем виде определяется как отношение работы внешних сил к величине перемещаемого в цепи заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q},$$

где A - работа сил, q - заряд, на который действуют силы.

Также мы пользуемся законом Ома для **замкнутой цепи**:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}, \tag{1}$$

где $\mathcal{E}$ - ЭДС, действующая в цепи, R - суммарное сопротивление всей цепи, включая внутренее сопротивление источника.

2 Компенсационный метод

В данной работе используется **компенсационный метод** измерения ЭДС, который заключается в сравнении ЭДС нужного нам компонента с ЭДС нормального элемента по компенсационной схеме. В нашем случае нормальный элемент - ртутно-кадмиевый элемент Вестона. ЭДС данного элемента очень мало меняется со временем и с температурой, что позволяет использовать его как эталон. Он требует бережного отношения в силу своей конструкции, и при $t = 20°\text{C}$ его ЭДС составляет $\mathcal{E} = 1,0183\text{В}$.

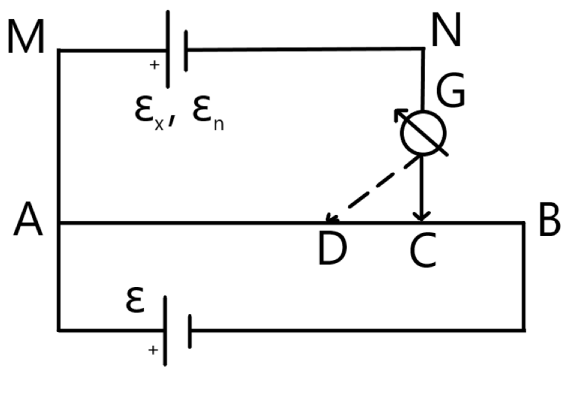

Рис. 1: Компенсационная схема

Здесь: $\mathcal{E}$ - источник питания $\mathcal{E}_x$ - исследуемый элемент $\mathcal{E}_n$ - нормальный (контрольный) элемент, G - гальванометр.

Если подключить вольтметр напрямую к источнику ЭДС, то полное сопротивление будет состоять не только из сопротивления вольтметра, но и из сопротивления источника:

$$R = R_V + r,$$

где R_V - сопротивление вольтметра, r - сопротивление источника ЭДС.

Из (1) следует:

$$\mathcal{E} = IR_V + Ir \tag{2}$$

Слагаемое IR_V представляет собой напряжение, которое показывает вольтметр, и это показание отличается от ЭДС на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении источника.

И если подключить $\mathcal{E}$ и $\mathcal{E}_x$ параллельно, и $\mathcal{E} > \mathcal{E}_x$, то на реохорде AB мы сможем найти точку C, при которой ток на $AMNC$ будет равен нулю. Применив второй закон Кирхгофа для контура $AMNCA$, имеем:

$$I_2 R_{AMNC} - I_1 R_{AC} = -\mathcal{E}_x \tag{3}$$

И так как $I_2 = 0$:

$$I_1 R_{AC} = \mathcal{E} \tag{4}$$

Таким образом, падение напряжения на AC, создаваемое $\mathcal{E}$ компенсирует ЭДС исследуемого нами элемента.

Затем мы меняем $\mathcal{E}_x$ на $\mathcal{E}_n$ (нормальный источник). Передвигая C мы добиваемся $I_2 = 0$ и в этом случае падение напряжение на AD компенсирует ЭДС нормального элемента;

$$I_1 R_{AD} = \mathcal{E} \tag{5}$$

Также нужно учесть, что I_1 в (4) и (5) не меняется, так как данный ток идёт по контуру AB, который, вообще говоря, не меняется. Откуда мы получаем:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{R_{AC}}{R_{AD}} \tag{6}$$

Так как сопротивление на любом участке реохорда равно:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где l - длина проводника, S - площадь поперечное сечение, ρ - удельное электрическое сопротивление (зависящее от свойств материала). В нашем случае $\rho, S = const$, при подставлении в (6) данные константы сократятся, и мы получим:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{l_{AC}}{l_{AD}}, \tag{7}$$

где l_{AC} и l_{AD} - длины участков реохорда AC и AD соответственно.

3 План работы

1. Собрать схему как на рисунке. Кнопочный ключ K_1 используется для предохранения схемы от экстратоков замыкания.
2. Магазины сопротивлений $M.C.$ поставить на максимум.
3. Двойным ключом К_2 подсоединить неизвестный элемент $\mathcal{E}_x$
4. Замнуть ключ K_1 и, двигая рычаг реохорда, выставить точку C, при которой ток I_2 на гальванометре G будет равен нулю.
5. Уменьшая сопротивление $M.C.$ ожидать окончательной компенсации тока.
6. Снять значение l_x соответствующее длине участка AC при полной компенсации.
7. Вернуть $M.C.$ в максимальное значение.
8. Переключить ключ К_2 на нормальный элемент. Повторить пункты (4, 5) Снять значение l_n.
9. Провести вышеуказанные пункты несколько раз для выявления случайной погрешности.
10. Внести полученные данные в таблицу.

4 Ход работы

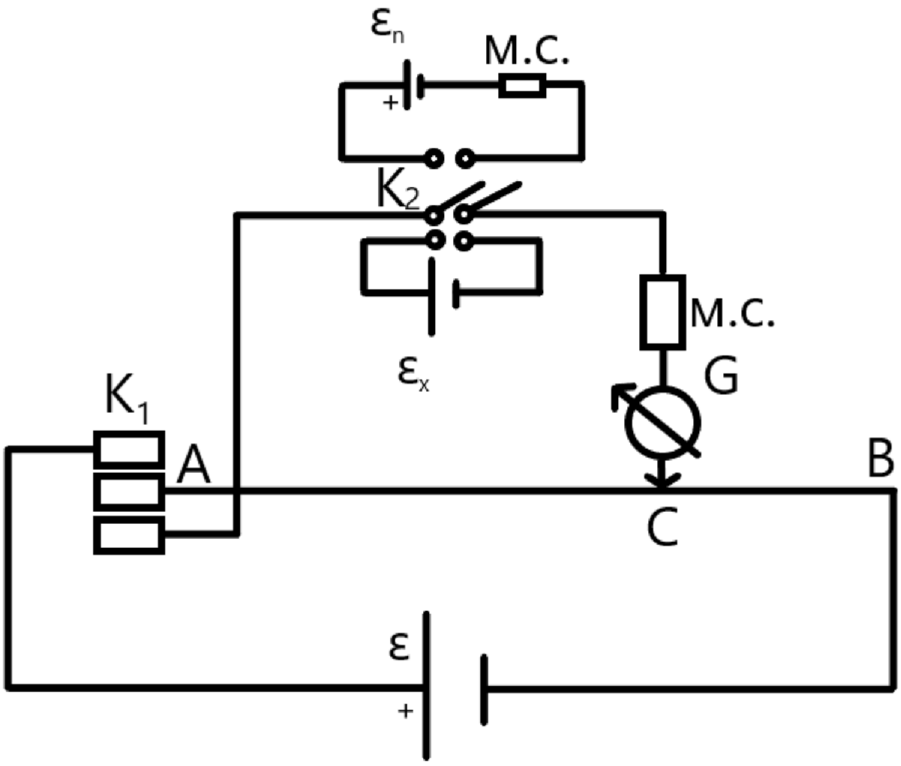

Рис. 2: Схема установки

Собрав установку и проделав вышеуказанные шаги, мы провели расчёты по рабочей формуле (7), приняв $l_{AC} = l_x$ и $l_{AD} = l_n$.

Полученные в ходе работы данные указаны ниже:

№	$l_x \pm \Delta l_x$, мм	$l_n \pm \Delta l_n$, мм	$\mathcal{E}_n$, В	$\mathcal{E}_x \pm \Delta\mathcal{E}_x$, В
1	84,7 ± 0,5	90,5 ± 0,6	1,0183	0,954 ± 0,009
2	85,2 ± 0,5	89,6 ± 0,6	1,0183	0,969 ± 0,009
3	85,4 ± 0,5	90,6 ± 0,6	1,0183	0,960 ± 0,009
4	85,3 ± 0,5	90,3 ± 0,6	1,0183	0,962 ± 0,009
5	84,6 ± 0,5	90,9 ± 0,6	1,0183	0,947 ± 0,009

Таблица 1: Результаты измерений

Случайная погрешность для l_n и l_x рассчитывалась по следующей формуле:

$$\Delta l_x = t_{\alpha,n}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(l_{x_i} - < l_x >)^2}{n(n-1)}},$$

где n - количество измерений, $\alpha = 0,95$ - доверительный интервал, $t_{\alpha,n}$ - коэффициент Стьюдента, $< l_x >$ - среднее значение рассматриваемой величины.

Для определения погрешности $\mathcal{E}_x$ использовалась следующая формула для косвенных погрешностей:

$$\Delta\mathcal{E}_x = \sqrt{\left(\frac{\partial\mathcal{E}_x}{\partial l_x}\Delta l_x\right)^2 + \left(\frac{\partial\mathcal{E}_n}{\partial l_n}\Delta l_n\right)^2}$$

В среднем, значение искомой величины равно:

$$\boxed{\mathcal{E}_x = 0,958 \pm 0,009\text{В}}$$

5 Вывод

В данной работе мы изучили компенсационный метод измерения электродвижущей силы с использованием нормального элемента Вестона. Учитывая соблюдение осторожности относительно использования элемента Вестона, мы избежали дополнительных погрешностей. Учитывая порядки погрешностей относительно самих величин можно также сказать, что работа была проведена без грубых ошибок, с хорошей точностью.