

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**:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  - ЭДС, действующая в цепи,  $R$  - суммарное сопротивление всей цепи, включая внутреннее 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. Данный элемент слабо теряет ЭДС со временем и температурой, что позволяет использовать его как эталон. Он требует бережного отношения, и при  $t = 20^\circ\text{C}$  его ЭДС составляет  $\mathcal{E} = 1,0183\text{В}$ .

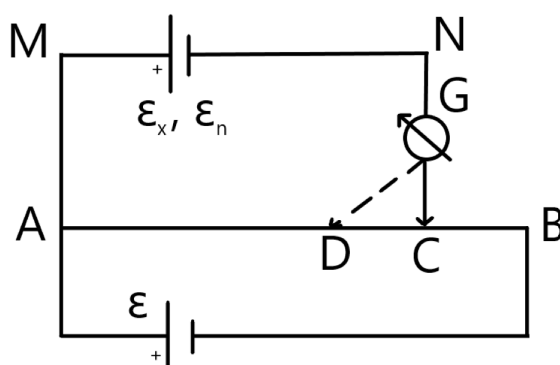


Рис. 1: Компенсационная схема

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:

$$\mathcal{E} = IR_V + Ir \quad (2)$$

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:

$$I_2 R_{AMNC} - I_1 R_{AC} = -\mathcal{E}_x \quad (3)$$

И так как  $I_2 = 0$ :

$$I_1 R_{AC} = \mathcal{E} \quad (4)$$

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;

$$I_1 R_{AD} = \mathcal{E} \quad (5)$$

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:

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{R_{AC}}{R_{AD}} \quad (6)$$

Так как сопротивление на любом участке реохорда равно:

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

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

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{l_{AC}}{l_{AD}}, \quad (7)$$

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  $K_2$  подсоединить неизвестный элемент  $\mathcal{E}_x$
4. Замкнуть 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  $K_2$  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

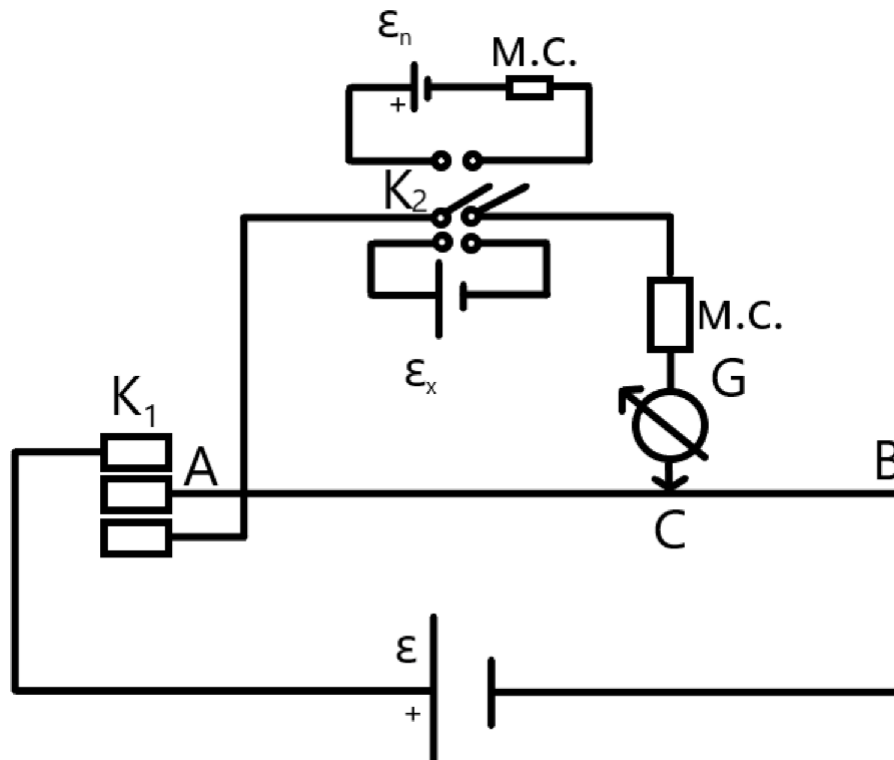


Рис. 2: Схема установки

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	$\mathcal{E}_x$ , В
1	$84,7 \pm 0,5$	$90,5 \pm 0,6$	1,0183	$0.954 \pm 0.009$
2	$85,2 \pm 0,5$	$89,6 \pm 0,6$	1,0183	$0.969 \pm 0.009$
3	$85,4 \pm 0,5$	$90,6 \pm 0,6$	1,0183	$0.960 \pm 0.009$
4	$85,3 \pm 0,5$	$90,3 \pm 0,6$	1,0183	$0.962 \pm 0.009$
5	$84,6 \pm 0,5$	$90,9 \pm 0,6$	1,0183	$0.947 \pm 0.009$

Таблица 1: Результаты измерений

Случайная погрешность для  $l_n$  и  $l_x$  рассчитывалась по следующей формуле:

$$\Delta l_x = t_{\alpha,n} \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (l_{x_i} - \langle l_x \rangle)^2}{n(n-1)}},$$

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

Для определения косвенной погрешности  $\mathcal{E}_x$  использовалась следующая формула:

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