

# Отчёт по лабораторной работе №205. Измерение ЭДС компенсационным методом.

Цель работы: измерить ЭДС компенсационным методом и сравнить результат с измерением с помощью вольтметра.

Аппаратура и оборудование: блок питания БП-2В, нормальный элемент типа МЭ-В5, два миллиамперных вольтметра сопротивлений, батарейка (используется ЭДС), нулевой вольтметр, соединительный резистор.

## Теоретическая часть.

Стационарный электрический ток в замкнутой цепи может существовать благодаря источникам тока, в которых на зарядящиеся частицы (носители тока) действуют сторонние силы  $\vec{E}^{\sigma}$ . Электродвижущей силой (ЭДС) по участку 1-2 называется работа сторонней силы, совершаемая при перемещении по этому участку единичного положительного заряда:

$$\mathcal{E}_{12} = \int_1^2 \vec{E}^{\sigma} d\vec{l} \quad (1), \text{ где } \vec{E}^{\sigma} - \text{напряжённость поля сторонних сил.}$$

Работа, совершаемая кулоновской силой при перемещении единичного положительного заряда из точки 1 в точку 2, есть разность потенциалов между этими точками:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E}^k d\vec{l} \quad (2), \text{ где } \vec{E}^k - \text{кулоновское поле.}$$

Кроме сторонних и кулоновских сил на носители тока в проводниках действуют силы сопротивления. Поскольку алгебраическая сумма работ кулоновских, сторонних сил и сил сопротивления равна нулю (заряды движутся равномерно), то на любом участке цепи выполняется закон Ома:

$$IR_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12} \quad (3)$$

## Измерение ЭДС при помощи вольтметра.

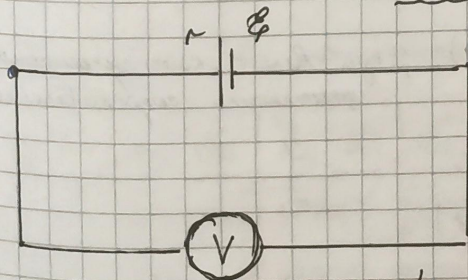


Рис. 1. Измерение ЭДС при помощи вольтметра

При подключении вольтметра с сопротивлением  $R_v$  к батарее, имеющей ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутреннее сопротивление  $r$  (рис. 1), показания вольтметра будут пропорциональны протекающему в цепи току  $I$ :

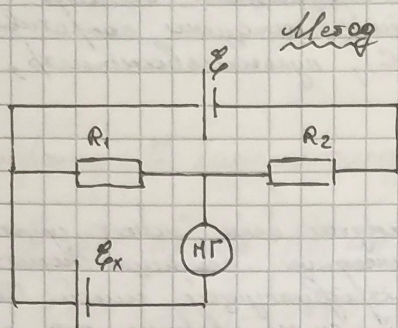
$$U = IR_v = \frac{\mathcal{E} R_v}{R_v + r} \quad (4)$$

Показания вольтметра отнимаются от значения  $\mathcal{E}$  на величину:

$$\mathcal{E} - U = Ir = \frac{\mathcal{E} r}{R_v + r} \quad (5)$$

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

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



Метод компенсации.

На рис. 2 приведена принципиальная схема  $\mathcal{E}_x$  - неизвестная ЭДС, которую требуется измерить, а  $\mathcal{E}$  - ЭДС источника питания.

Рис. 2. Принципиальная схема измерения ЭДС методом компенсации.

Суть метода заключается в том, чтобы, подбирая  $R_2$  при неизменной  $R_1$ , добиться обращения в нуль тока через гальванометр.

По правилу Кирхгофа:

$$I_g = \frac{\mathcal{E} R_1 - \mathcal{E}_x R}{r R + R_1 R_2} \quad (8)$$

Из условия компенсации  $I_g = 0$ :

$$\mathcal{E}_x = \frac{R_{1x}}{R} \mathcal{E} \quad (9), \text{ где } R_{1x} - \text{значение } R_1, \text{ при котором } I_g = 0.$$

Для нахождения  $\mathcal{E}_x$  требуется знать значение  $\mathcal{E}$ . Чтобы его измерить в цель включается эталонная ЭДС  $\mathcal{E}_N$  и, подбирая  $R_1$ , вновь добиваются компенсации:

$$\mathcal{E}_N = \frac{R_{1N}}{R} \mathcal{E} \quad (10), \text{ где } R_{1N} - \text{компенсационное значение сопротивлений } R_1.$$

Из (9) и (10) находим:

$$\mathcal{E}_x = \frac{R_{1x}}{R_{1N}} \mathcal{E}_N \quad (11)$$

Экспериментальная установка.

Рабочая схема приведена на рис. 3.

В качестве источника питания в работе используется стандартный блок питания БП-28, а в качестве эталонной ЭДС - нормальный элемент типа НЭ-65 класса 0,005. Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  представляют собой два декадных потенциальных малядина.

Защитный  
наметр от  
Перед нами  
по мере

Схема  
линия к  
нулю в вольт  
элемент от  
исключить  
токов, при  
к2 смонти  
контакты  
питания  
подключает  
2 и 3) вст

1. Измерен

2. Измерен

| $\mathcal{E}, \text{В}$ |
|-------------------------|
| 3,00                    |
| 6,00                    |

Рис. 3

Защитный резистор  $R_3$  предохраняет нормальный элемент и нулевой элемент от недопустимо больших токов в случае короткого замыкания. Перед началом каждого измерения  $R_3$  вводится в цепь полностью, а по мере приближения к точке компенсации уменьшается до нуля.

Схема включается на короткое время с помощью двойного ключа  $K_2$ . Чтобы предохранить нулевой элемент и нормальный элемент от перегрузок, а также исключить влияние индукционных токов, при замыкании ключа  $K_2$  сначала замыкается (через контакты 1 и 2) цепь источника питания и лишь после этого подключается (через контакты 2 и 3) ветвь с  $\mathcal{E}_x$  или  $\mathcal{E}_N$ .

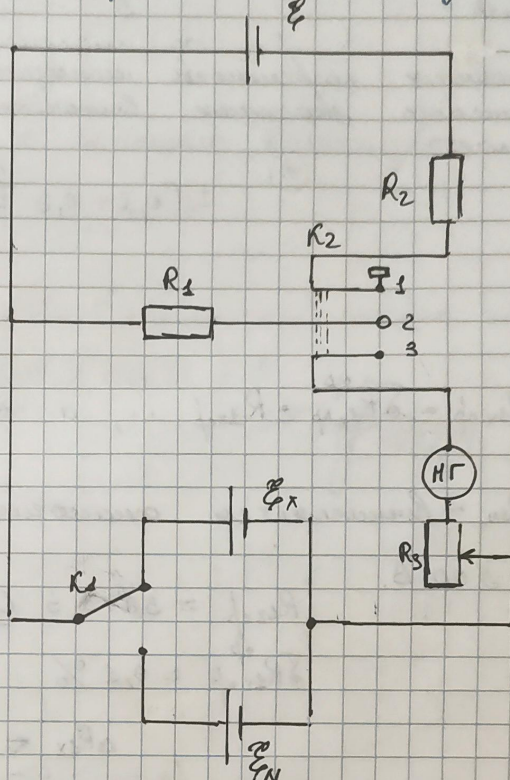


Рис. 3. Рабочая схема для определения ЭДС методом компенсации.

### Экспериментальная часть.

1. Измерение  $\mathcal{E}_x$  (ЭДС) с помощью вольтметра:

$$\mathcal{E}_x = 1,54 \text{ В}$$

2. Измерение  $\mathcal{E}_x$  компенсационным методом:

| $\mathcal{E}, \text{В}$ | $R_{1x}, \text{Ом}$ | $R_{2x}, \text{Ом}$ | $R_{1x}^+, \text{Ом}$ | $R_{1N}^-, \text{Ом}$ | $R_{1N}, \text{Ом}$ | $R_{1N}^+, \text{Ом}$ | $\mathcal{E}_x, \text{В}$ | $\Delta \mathcal{E}_x, \text{В}$ |
|-------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 3,00                    | 5640,2              | 5643,2              | 5647,2                | 3774,0                | 3778,0              | 3783,0                | 1,521                     | 0,0046                           |
| 6,00                    | 2812,9              | 2814,9              | 2816,9                | 1884,0                | 1886,0              | 1888,0                | 1,520                     | 0,0036                           |

$$\mathcal{E}_x = \frac{R_{1x}}{R_{1N}} \mathcal{E}_N$$

Расчет погрешностей:

$$\Delta \mathcal{E}_x = \Delta \mathcal{E}_N + \Delta R_{1x} + \Delta R_{1N}$$

$$\Delta \mathcal{E}_N = 0,005 \cdot 0,01.$$

$$(\text{кл. погр. } 0,005\%)$$

$$\delta R_{Lx} = \frac{\Delta R_{Lx}}{R_{Lx \text{ ср}}}, \text{ где } R_{Lx \text{ ср}} = \frac{R_{Lx}^- + R_{Lx} + R_{Lx}^+}{3}$$

$$\Delta R_{Lx} = \sqrt{(\Delta R_{Lx \text{ пр}})^2 + (\Delta R_{Lx \text{ нр}})^2} \quad (\Delta R_{Lx \text{ пр}} - \text{приборная погрешность})$$

$$\Delta R_{Lx \text{ ср}} = \frac{|R_{\text{ср}} - R_{Lx}^-| + |R_{\text{ср}} - R_{Lx}| + |R_{\text{ср}} - R_{Lx}^+|}{3}$$

Основная погрешность измерения, выраженная в процентах от номинального значения выходящего сопротивления не превышает:

$$(*) \pm [0,1 + 0,2 \frac{m}{R}] \text{, где } m - \text{число знаков манометра показаний которых не равны 0.}$$

$R$  - значение выходящего сопротивления.

Вывод:

$$\Delta R_{Lx \text{ нр}} = \delta R_{Lx \text{ нр}}^{\text{ср}} \cdot R_{Lx \text{ ср}}, \text{ а } \delta R_{Lx \text{ нр}} \sim \text{вычисляется по ф-ле } (*)$$

$\delta R_{Lx \text{ н}} \sim \text{вычисляется аналогично.}$

$$1) \mathcal{E} = 3,00 \text{ В.}$$

$$R_{Lx \text{ ср}} \approx 5643,5 \text{ Ом} \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ ср}} \approx 2,53 \text{ Ом}$$

$$\delta R_{Lx \text{ нр}}^{\text{ср}} \approx 0,1 \% \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ нр}} \approx 5,64 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_{Lx} \approx 6,18 \text{ Ом} \rightarrow \delta R_{Lx} \approx \frac{6,18}{5643,5} \approx 0,0011$$

$$R_{Lx \text{ нр}} \approx 3778,0 \text{ Ом} \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ нр}} \approx 3 \text{ Ом}$$

$$\delta R_{Lx \text{ нр}}^{\text{ср}} \approx 0,1 \% \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ нр}} \approx 3,78 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_{Lx \text{ н}} \approx 6,79 \text{ Ом} \rightarrow \delta R_{Lx \text{ н}} \approx 0,0018$$

$$\rightarrow \delta \mathcal{E}_x = 0,00005 + 0,0011 + 0,0018 \approx 0,003$$

$$\Delta \mathcal{E}_x = \delta \mathcal{E}_x \cdot \mathcal{E}_x \approx 0,0046 \text{ В.}$$

$$2) \mathcal{E} = 6,00 \text{ В}$$

$$R_{Lx \text{ ср}} \approx 2814,9 \text{ Ом} \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ ср}} \approx 1,33 \text{ Ом}$$

$$\delta R_{Lx \text{ нр}}^{\text{ср}} \approx 0,1 \% \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ нр}} \approx 2,81 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_{Lx} \approx 3,11 \text{ Ом} \rightarrow \delta R_{Lx} \approx 0,0011$$

$$R_{Lx \text{ нр}} \approx 1886 \text{ Ом} \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ нр}} \approx 1,33 \text{ Ом}$$

$$\delta R_{Lx \text{ нр}}^{\text{ср}} \approx 0,1 \% \rightarrow \Delta R_{Lx \text{ нр}} \approx 1,89 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_{Lx \text{ н}} \approx 2,31 \text{ Ом} \rightarrow \delta R_{Lx \text{ н}} \approx 0,0012$$

$$\Rightarrow \delta \mathcal{E}_x = 0,00005 + 0,0011 + 0,0012 = 0,0024$$

$$\Rightarrow \Delta \mathcal{E}_x = \mathcal{E}_x \cdot \delta \mathcal{E}_x \approx 0,0038 \text{ В.}$$

$$\mathcal{E}_{x \text{ ср.}} = \frac{\mathcal{E}_x^{(1)} + \mathcal{E}_x^{(2)}}{2} \approx 1,5205 \text{ В.}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{x \text{ ср.}} \approx 0,0041 \text{ В.}$$

Вывод: 1) Измерили ЭДС ( $\mathcal{E}_x$ ) с помощью вольтметра:

$$\mathcal{E}_x \approx (1,54 \pm 0,01) \text{ В}$$

2) Измерили неизвестную  $\mathcal{E}_x$  компенсационным методом:

$$\mathcal{E}_x = (1,5205 \pm 0,0041) \text{ В.}$$

10.12.21