

ЛАБОРОТОРНАЯ РАБОТА № 3-7:
ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩИХ СИЛ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ

Студент _____ группа _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: ознакомление с методами компенсации и применение этого метода для измерения электродвижущей силы гальванического элемента в электрической цепи.

Приборы и принадлежности: установка для определения ЭДС неизвестного элемента тока

Принципиальная схема установки изображена на рис 1.

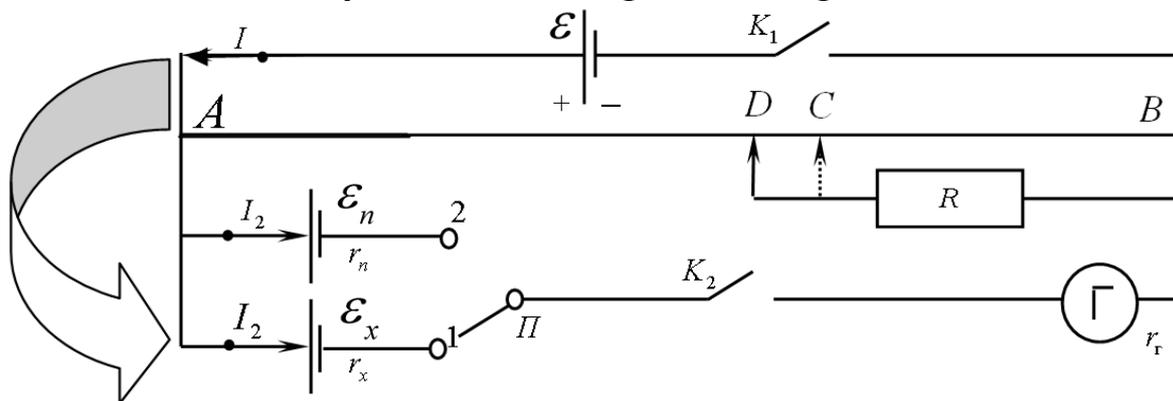


Рис. 1

На рис. 1:

\mathcal{E} - источник питания цепи; \mathcal{E}_x - исследуемый источник тока;
 \mathcal{E}_n - нормальный элемент Вестона.

Электродвижущей силой \mathcal{E} на данном участке электрической цепи называется скалярная величина равная отношению работы сторонних сил $A_{\text{сторонних}}$ по перемещению положительного заряда q на данном участке электрической цепи, к величине этого заряда q :

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{сторонних}}}{q}.$$

Электродвижущая сила гальванических элементов не зависит от размеров электродов и количества электролита, а определяется лишь их химическим составом и при данных условиях постоянна. Каждый тип элементов даёт свою определенную ЭДС.

Точное измерение ЭДС гальванического элемента нельзя произвести обычным вольтметром, так как он требует для своей работы наличия тока в цепи, следовательно, измеренная им разность потенциалов будет меньше, чем ЭДС исследуемого элемента.

ЭДС гальванических элементов более точно можно определить методом компенсации, который используется в данной работе. Для расчёта ЭДС методом компенсации применяются правила Кирхгофа (см. теоретическую часть).

Применим для нашей цепи правила Кирхгофа. Для этого выберем произвольно направления токов и направление обхода контуров (например, против часовой стрелки), и применим к рассматриваемой схеме законы Кирхгофа.

По второму закону Кирхгофа для контура $A\mathcal{E}_x\Gamma CA$ имеем:

$$UI_2(r_x + r_\Gamma + R) - I_1 R_{AC} = -\mathcal{E}_x, \quad (6)$$

где r_x - внутреннее сопротивление батареи; r_Γ - внутреннее сопротивление гальванометра; R_{AC} - сопротивление участка AC . Когда ток через гальванометр равен нулю, то есть $I_2 = 0$, то

$$I_1 R_{AC} = \mathcal{E}_x, \quad (7)$$

то есть в этом случае падение напряжения на участке AC , создаваемое батареей \mathcal{E} , будет равно ЭДС неизвестного элемента (то есть произошла компенсация).

Заменим исследуемый элемент нормальным элементом Вестона, ЭДС которого известна и равна $\mathcal{E}_n = 2.0366$ В.

Передвигая контакт C , добьемся такого его положения D , чтобы ток через гальванометр отсутствовал. Тогда по второму закону Кирхгофа для контура $A\mathcal{E}_n\Gamma DA$ получим:

$$I_2(r_n + r_\Gamma + R) - I_1 R_{AD} = -\mathcal{E}_n,$$

где r_n - внутреннее сопротивление нормального элемента;

R_{AD} - сопротивление участка AD .

Но так как $I_2 = 0$, то

$$I_1 R_{AD} = \mathcal{E}_n. \quad (8)$$

Ток через участок AB остается прежним, так как в цепи $A\Gamma D$ тока нет. Разделив выражение (7) на (8), получим:

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

Так как проволока на участке калиброванная, т.е. имеет одинаковое сечение и удельное сопротивление, то отношение сопротивлений проволоки можно заменить отношением их длин. Тогда

$$\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{L_1}{L_2}, \quad (9)$$

где L_1 и L_2 - длины участков AC и AD в произвольных единицах.

Зная \mathcal{E}_n и, измерив AC и AD, по формуле (9) можно определить искомое ЭДС \mathcal{E}_x .

Следует обратить внимание на то, что в данной работе гальванометр регистрирует отсутствие тока, а не измеряет его, поэтому точность компенсации не зависит от класса точности прибора, а зависит только от его чувствительности.

В качестве эталона ЭДС используется ртутно-кадмиевый нормальный элемент Вестона. Ввиду постоянства ЭДС нормального элемента, её удобно сравнивать с другими неизвестными ЭДС.



Рис. 2 Внешний вид лабораторной установки

Упражнение 1. Определение электродвижущей силы гальванического элемента методом компенсации

Выполнение работы

1. Поставьте подвижной контакт C посередине реохорда P и замкните ключ K_1 .
2. Установите переключатель Π в положение \mathcal{E}_x (значение задается преподавателем).
3. Замкнув ключ K_2 и передвигая подвижный контакт C (вправо или влево), добейтесь отсутствия тока в цепи гальванометра Γ .
Запишите в таблицу длину L_1 в делениях шкалы реохорда.
4. Установите переключатель Π в положение \mathcal{E}_n и снова добейтесь отсутствия тока в цепи гальванометра. Запишите в таблицу длину L_2 в делениях шкалы реохорда.
5. Проведите измерения 3 раза. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

N опыта	L_1	ΔL_1	L_2	ΔL_2	\mathcal{E}_n	$\Delta \mathcal{E}_n$	\mathcal{E}_x	$\Delta \mathcal{E}_x$	$\frac{\Delta \mathcal{E}_x}{\langle \mathcal{E}_x \rangle}$
1									
2									
3									

6. В качестве абсолютной погрешности в измерении величин ΔL_1 и ΔL_2 возьмите приборную погрешность (она равна половине единицы цены деления шкалы прибора).
7. В качестве абсолютной погрешности в измерении величины $\Delta \mathcal{E}_n$ возьмите погрешность округления (она равна половине единицы последнего разряда округлённой табличной величины)

8. Вычислите неизвестную ЭДС \mathcal{E}_x по формуле $\mathcal{E}_x = \mathcal{E}_n \frac{L_1}{L_2}$,

где $\mathcal{E}_n = 2.0366$ В - ЭДС эталонного элемента Вестона.

9. Рассчитайте среднее значение ЭДС неизвестного элемента: $\langle \mathcal{E}_x \rangle = \frac{\sum \mathcal{E}_{xi}}{n}$.

10. Погрешность измерения ЭДС неизвестного элемента определите по формуле:

$$S_{\langle \mathcal{E}_x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\mathcal{E}_{xi} - \langle \mathcal{E}_x \rangle)^2}{n(n-1)}}, \text{ где } n - \text{число измерений.}$$

11. Окончательный ответ запишите в виде: $\mathcal{E}_x = \langle \mathcal{E}_x \rangle \pm S_{\langle \mathcal{E}_x \rangle} t_{pk}$,

где $t_{p,k} = 4.3$ для вероятности доверительного интервала $p = 0,95$.

ВНИМАНИЕ: в связи с дистанционным обучением, Вам не надо проводить эксперимент самостоятельно. За Вас это сделали добрые люди. Ваша задача оформить лабораторную работу по примеру лабораторной работы 0-1 (не надо переписывать всё подряд).

1) Необходима шапка

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3-7:
ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩИХ СИЛ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ**

Студент _____ группа _____

Допуск _____ Выполнение _____ Защита _____

Цель работы: ознакомление с методами компенсации и применение этого метода для измерения электродвижущей силы гальванического элемента в электрической цепи.

Приборы и принадлежности: установка для определения ЭДС неизвестного элемента тока

(рисунок установки можете не делать)

2) Название упражнения

Упражнение 1. Определение электродвижущей силы гальванического элемента методом компенсации

3) Таблица

Таблица 1

N опыта	L_1	ΔL_1	L_2	ΔL_2	\mathcal{E}_n	$\Delta \mathcal{E}_n$	\mathcal{E}_x	$\Delta \mathcal{E}_x$	$\frac{\Delta \mathcal{E}_x}{\langle \mathcal{E}_x \rangle}$
1									
2									
3									

4) Под таблицей расчётные формулы, проверка их размерности и сами вычисления.

5) Грамотно записан ответ.

Результаты эксперимента приводятся для каждой бригады после контрольных вопросов.

Контрольные вопросы

1. Электрический ток. Основные характеристики постоянного тока.
2. Дайте определение ЭДС и падения напряжения.
3. Сформулируйте законы Ома для различных участков цепи.
4. Зависимость сопротивления металлического проводника от его геометрических размеров.
5. Работа и мощность постоянного электрического тока. Закон Джоуля - Ленца.
6. Виды соединения сопротивлений
7. Сформулируйте законы Кирхгофа и правила их применения для расчёта цепей постоянного тока.

ВНИМАНИЕ: для защиты лабораторной работы необходимо её оформить, провести расчёты согласно результатам эксперимента для Вашей бригады, грамотно заполнить таблицы, проверить размерность формул, грамотно записать ответы и ответить в письменном виде на контрольные вопросы.

Сфотографируйте Вашу работу, а так же ответы на контрольные вопросы, и пришлите фотографии мне на WhatsApp по телефону +79092075972.

Не забудьте подписать лабораторную работу.

Тому, кто выполнит все требования, я зачту лабораторную работу.

Бригады 1 и 6

Таблица 1

N опыта	L_1 , мм	ΔL_1	L_2 , мм	ΔL_2	ε_n	$\Delta \varepsilon_n$	ε_x	$\Delta \varepsilon_x$	$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\langle \varepsilon_x \rangle}$
1	47		33						
2	49		35						
3	46		34						

Бригады 2 и 7

Таблица 1

N опыта	L_1 , мм	ΔL_1	L_2 , мм	ΔL_2	ε_n	$\Delta \varepsilon_n$	ε_x	$\Delta \varepsilon_x$	$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\langle \varepsilon_x \rangle}$
1	53		27						
2	55		29						
3	53		26						

Бригады 3 и 8

Таблица 1

N опыта	L_1 , мм	ΔL_1	L_2 , мм	ΔL_2	ε_n	$\Delta \varepsilon_n$	ε_x	$\Delta \varepsilon_x$	$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\langle \varepsilon_x \rangle}$
1	41		27						
2	39		29						
3	40		27						

Бригады 4 и 9

Таблица 1

N опыта	L_1 , мм	ΔL_1	L_2 , мм	ΔL_2	ε_n	$\Delta \varepsilon_n$	ε_x	$\Delta \varepsilon_x$	$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\langle \varepsilon_x \rangle}$
1	57		38						
2	59		35						
3	56		37						

Бригады 5 и 10

Таблица 1

N опыта	L_1 , мм	ΔL_1	L_2 , мм	ΔL_2	ε_n	$\Delta \varepsilon_n$	ε_x	$\Delta \varepsilon_x$	$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\langle \varepsilon_x \rangle}$
1	45		31						
2	47		33						
3	46		32						

Ответы на контрольные вопросы

1. Электрический ток. Основные характеристики постоянного тока

Электрическим током называется упорядоченное движение заряженных частиц или заряженных макроскопических тел.

Постоянным называется ток, величина и направление которого не изменяются с течением времени.

Силой постоянного тока I (и) называется скалярная величина, равная отношению заряда q протекающего через поперечное сечение проводника за время t , к величине этого промежутка времени:

$$I = \frac{q}{t}$$

где I (и) - сила тока, $[I] = A$, Ампер;

q (ку) - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t , Кл.

(за направление тока приняли направление движения положительных зарядов)

Плотностью тока \vec{j} называется векторная величина, совпадающая по направлению с электрическим током в данной точке и, равная отношению силы тока I , проходящего через поверхность площадью S , расположенную перпендикулярно направлению тока, к величине этой поверхности:

$$j = \frac{I}{S},$$

где j (йот) - плотность тока, $[j] = \frac{A}{m^2}$, (Ампер на метр квадратный)

S - площадь поперечного сечения проводника, $[S] = m^2$,

2. Дайте определение ЭДС \mathcal{E} и падения напряжения U

Электродвижущей силой (ЭДС) \mathcal{E} (е) на участке цепи называется величина, равная отношению работы сторонних сил $A_{стор}$ по перемещению единичного положительного заряда q на данном участке цепи, к величине

этого заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{стор}}{q},$$

где \mathcal{E} (е) - ЭДС (электродвижущая сила) источника тока, В, Вольт

Напряжением U (у) на участке цепи называется величина, равная отношению суммарной работы кулоновских $A_{кул}$ и сторонних сил $A_{стор}$ по перемещению единичного положительного заряда q на данном участке цепи,

к величине этого заряда:

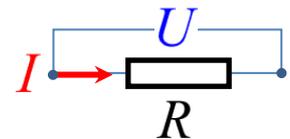
$$U = \frac{A_{кул} + A_{стор}}{q},$$

где U (у) - напряжение на участке цепи, В, Вольт

3. Сформулируйте законы Ома для различных участков цепи

Закон Ома для однородного (пассивного) участка электрической цепи
(то есть участка, не содержащего ЭДС)

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R},$$



где I - сила тока на данном участке цепи, А;

$U = \varphi_1 - \varphi_2$ - напряжение на данном участке цепи, В;

φ_1 и φ_2 - потенциалы на концах данного участка, В;

R - сопротивление этого участка цепи, Ом

Сопротивлением участка цепи R называется скалярная величина, равная отношению напряжения U на данном участке электрической цепи, к величине силы тока I , протекающего по этому участку проводника при данном напряжении:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Закон Ома для неоднородного (активного) участка цепи
(то есть участка, содержащего ЭДС)

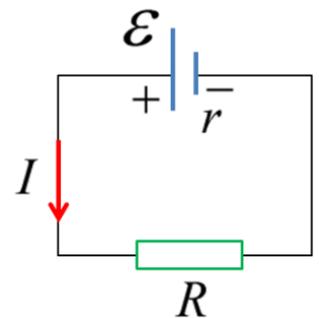
$$I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \sum \mathcal{E}_i}{R + r},$$

где
 $\sum \mathcal{E}_i$ - алгебраическая сумма ЭДС источников тока на данном участке цепи, В,
 $R_{\text{общ}} = R + r$ - общее сопротивление участка цепи, Ом,
 R - внешнее сопротивление цепи, Ом,
 r - внутреннее сопротивление цепи (сопротивление источников тока), Ом.

Закон Ома для замкнутой электрической цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

где \mathcal{E} (е) - ЭДС (электродвижущая сила) источника тока,
 $[\mathcal{E}] = B$, Вольт;



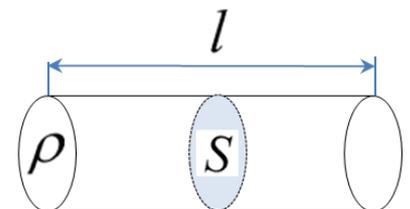
R (эр) - внешнее сопротивление цепи, Ом;

r (эр) - внутреннее сопротивление цепи (сопротивление источника тока), Ом.

4. Зависимость сопротивления металлического проводника от его геометрических размеров

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

где R (эр) - сопротивление участка цепи, Ом;
 ρ (ро) - удельное сопротивление проводника,
 Ом · м, (Ом - метр);



l (эль) - длина проводника, м;

S (эс) - площадь поперечного сечения проводника, м².

5. Работа и мощность постоянного электрического тока

Работа постоянного тока на участке электрической цепи

$$A = qU = I^2 R t = IU t = \frac{U^2}{R} t$$

где A - работа тока, Дж;

U - напряжение на данном участке цепи, В

q - заряд, прошедший по данному участку цепи за время t , Кл;

I - сила тока, А; t - время протекания тока на данном участке цепи, с.

Мощность постоянного тока на участке цепи

$$P = I^2 R = IU = \frac{U^2}{R}$$

где P (пэ) - мощность тока, Вт, Ватт;

U (у) - напряжение на данном участке цепи, В;

I (и) - сила тока на участке цепи, А.

Закон Джоуля – Ленца

(позволяет определить количество теплоты, которое выделяется в проводнике при прохождении по нему электрического тока)

$$Q = qU = I^2 R t = IU t = \frac{U^2}{R} t$$

где Q (ку) - количество теплоты, выделившейся на участке цепи, Дж;

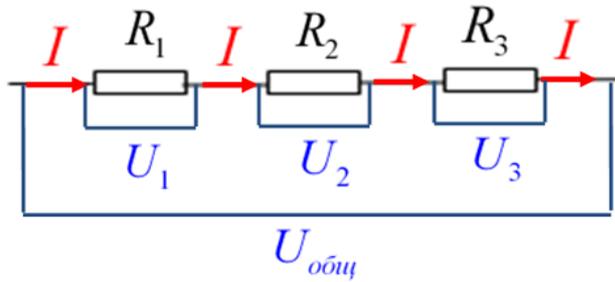
I - сила тока, А;

R - сопротивление участка цепи, Ом;

t - время протекания тока на данном участке цепи, с

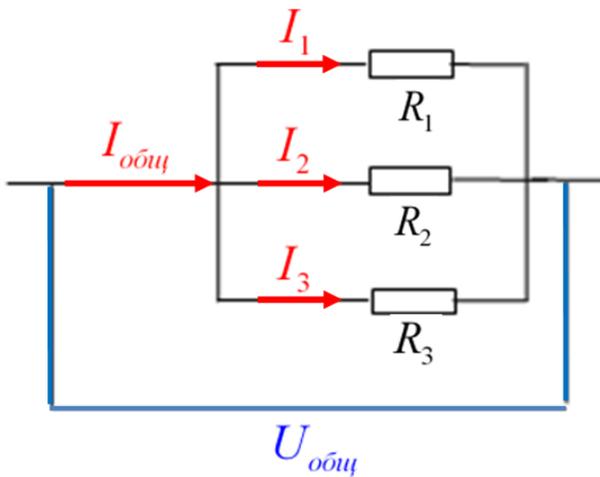
6. Виды соединения сопротивлений

Последовательное соединение проводников



$$\left\{ \begin{array}{l} R_{общ} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \\ U_{общ} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \\ I_{общ} = I_1 = I_2 = \dots = I_n \\ I_i = \frac{U_i}{R_i} \quad I_{общ} = \frac{U_{общ}}{R_{общ}} \end{array} \right.$$

Параллельное соединение проводников



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \\ U_{общ} = U_1 = U_2 = \dots = U_n \\ I_{общ} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \\ I_i = \frac{U_i}{R_i} \quad I_{общ} = \frac{U_{общ}}{R_{общ}} \end{array} \right.$$

7. Сформулируйте законы Кирхгофа и правила их применения для расчёта цепей постоянного тока

Первое правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю, т.е.

$$\sum I_i = 0$$

Второе правило Кирхгофа

В любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма падений напряжений (произведений сил токов I_i на сопротивление R_i) на отдельных участках цепи этого контура, равна алгебраической сумме ЭДС \mathcal{E} , встречающихся в

этом контуре:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{k=1}^m \mathcal{E}_k$$

Применяя законы Кирхгофа необходимо:

1. Определить число электрических узлов и независимых контуров в схеме

Узлом называется место соединения трех и более проводников.

Контуром называется любой замкнутый участок электрической цепи.

Ветвью называется участок цепи от одного узла до соседнего узла

2. Перед составлением уравнений произвольно выбрать и указать стрелками на чертеже:

а) направление токов (если они не задана по условию задачи) во всех сопротивлениях, входящих в цепь, учитывая, что от узла до узла течёт один и тот же ток;

б) направление обхода контура.

3. При составлении уравнений по первому закону Кирхгофа считать токи, подходящие к узлу, положительными, а токи, отходящие от узла - отрицательными.

Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, должно быть на единицу меньше числа узлов, содержащихся в цепи.

4. При составлении уравнений по второму правилу Кирхгофа следует считать:

а) падение напряжения на участке цепи (т.е. произведение $I_i R_i$) входит в уравнение со знаком плюс, если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура; в противном случае произведение $I_i R_i$ входит в уравнение со знаком минус;

б) ЭДС \mathcal{E} входит в уравнение со знаком плюс, если оно повышает потенциал в направлении обхода контура: т.е. если при обходе контура внутри источника тока приходится идти от минуса к плюсу, в противном случае ЭДС \mathcal{E} входит в уравнение со знаком минус.

Число независимых уравнений, которые могут быть составлены по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров, имеющих в цепи.

Независимый контур – это контур, содержащий хотя бы одну новую ветвь, которая не была задействована ранее при составлении второго правила Кирхгофа.

Для составления уравнений первый контур можно выбрать произвольно. Все следующие контуры следует выбирать таким образом, чтобы в каждый новый контур входила хотя бы одна ветвь цепи, не участвовавшая ни в одном из ранее использованных контуров. Произвольно выбранное направление обхода по контурам не изменяется до конца решения задачи.

Если при решении уравнений, составленных вышеуказанным способом, получены отрицательные значения силы тока или напряжения, то это означает, что ток через данное сопротивление в действительности течет в направлении, противоположном выбранному.