

Лабораторная работа № 3.31 а.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ

Цель работы: ознакомление с методом конденсации и измерение ЭДС методом компенсации

Теоретическое введение.

Что такое ЭДС?

Пусть в проводнике AB (рис. 1) создано электрическое поле E , направленное в сторону падения потенциала от φ_A до φ_B . Для удобства рассуждений будем предполагать, что носителями тока являются положительные заряды. В реальности в металлических проводниках ток проводимости создается движением отрицательных зарядов – электронов. (Такая замена не меняет сути рассуждений).

В течение очень короткого времени будет происходить перемещение зарядов в сторону поля E от A к B до тех пор, пока в проводнике не установится одинаковый потенциал; при этом напряженность электрического поля внутри проводника станет равной нулю, и ток I прекратится.

Таким образом, проводник, в котором действуют только электростатические силы, со временем переходит в равновесное состояние.

Для того чтобы поддерживать ток длительное время, нужно осуществить **круговорот зарядов** (см. рис. 2), при котором они двигались бы по замкнутому пути.

Устройство, создающее и поддерживающее разность потенциалов $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ на концах проводника называется **источником тока**.

Ток течет во внешней части цепи по проводнику, и во внутренней – по источнику тока.

Источник тока имеет два полюса (рис. 2): положительный, с более высоким потенциалом (на схеме обозначается тонкой длинной чертой), и отрицательный, с более низким потенциалом (на схеме обозначается короткой жирной чертой).

Заряды во внешней части движутся в сторону убывания потенциала φ , т.е. от плюса к минусу, а внутри источника – от минуса к плюсу.

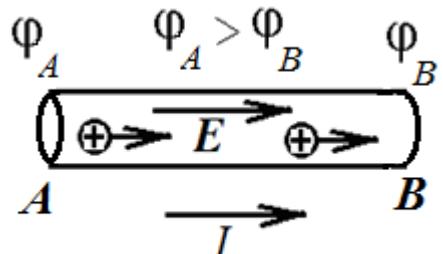


Рис. 1.

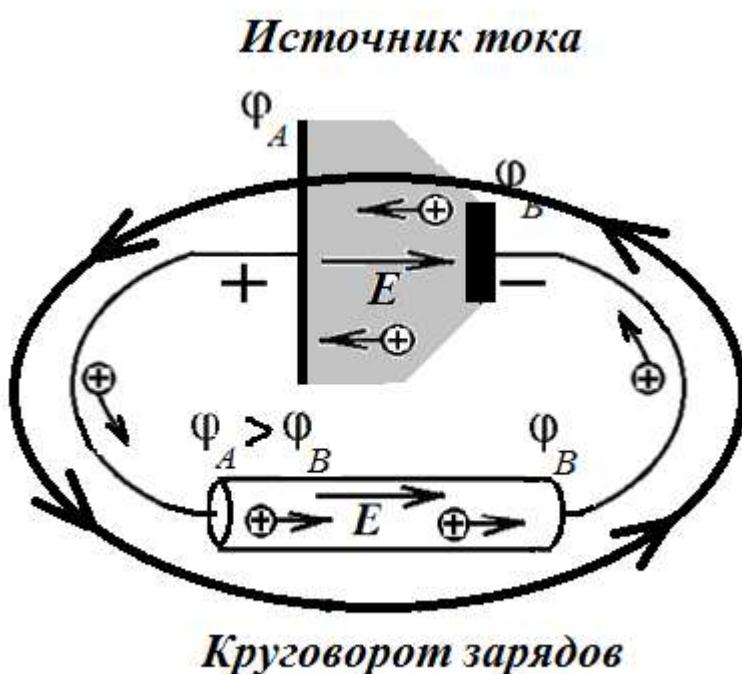


Рис. 2.

Но, как известно, одноименные заряды отталкиваются (на рис. 2 «плюс» заряда и «плюс» полюса источника), разноименные – притягиваются (на рис. 2 «плюс» заряда и «минус» полюса источника). Поэтому для перемещения зарядов внутри полюсами должны существовать силы *не кулоновского* происхождения, называемые **сторонними силами**.

Происхождение сторонних сил может быть различным. В батарейках и аккумуляторах они обусловлены химическими процессами. В солнечных батареях – энергией фотонов. В электрических генераторах это силы, действующие на движущиеся в магнитном поле заряды.

Перемещая электрические заряды, сторонние силы совершают работу против кулоновских сил за счет энергии, затрачиваемой в источнике тока.

Величина, равная работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда, называется электродвижущей силой (ЭДС) ε , действующей в замкнутой цепи или на ее участке. Следовательно, если работа сторонних сил над зарядом q равна A_{cm} , то

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q}. \quad (1)$$

Поскольку работа измеряется в Дж = Кл·В, то ЭДС измеряется в $\frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{Кл}}$ тех же единицах, что и потенциал, т. е. в вольтах (В).

Можно ли измерить ЭДС вольтметром ?

Согласно закону Ома для замкнутой цепи постоянного тока (рис.3)

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}, \quad (2)$$

где I – сила тока в цепи, ε – ЭДС источника тока, r – внутреннее сопротивление источника тока, R – внешнее сопротивление.

Произведение $IR = U$ называется падением напряжения на внешней цепи или напряжением на зажимах источника. Как следует из формулы (2) напряжение на зажимах работающего источника

$$U = \varepsilon - Ir \quad (3)$$

есть величина переменная, зависящая от силы тока, то есть нагрузки источника.

Напряжение на зажимах U меньше ЭДС ε на величину Ir , которая является падением напряжения на внутреннем сопротивлении источника.

Из формулы (3) видно, что использовать вольтметр для измерения ЭДС источника, подключив его непосредственно к клеммам источника нельзя, так как сам вольтметр при этом образует внешний участок цепи с сопротивлением R , и его показания будут отличаться от ЭДС на величину Ir .

Очевидно, чем выше сопротивление вольтметра по сравнению с сопротивлением источника, тем меньше отличие между показаниями вольтметра $U = IR$ и ЭДС ε источника, и это различие принципиально нельзя свести к нулю

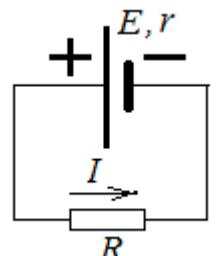


Рис.3.

Вывод. Измерение ЭДС ε нельзя произвести обычным вольтметром.

Замечание. Поскольку внутреннее сопротивление источника r имеет порядок десятых долей ома, а сопротивление вольтметра R – сотни кОм, а то и десятки МОм, то на практике для оценки ЭДС источников с небольшим внутренним сопротивлением можно пользоваться вольтметром, подключив его к зажимам источника тока без нагрузки.

Суть метода компенсации

Из уравнения (3) видно, что для определения ЭДС необходимо, чтобы в момент измерения сила тока через источник с измеряемой ЭДС была равна нулю. Это лежит в основе всех методов определения ЭДС.

Сущность метода компенсации заключается в том, что измеряемая ЭДС (рис. 4) компенсируется (уравновешивается) известным компенсирующим напряжением U_K .

Источники измеряемой ЭДС ε_x и компенсирующего напряжения U_K соединяются одноименными полюсами (рис 4). При этом два полюса соединяют непосредственно, а два других – через индикатор равенства (гальванометр).

Гальванометром называется высокочувствительный электроизмерительный прибор для измерения малых токов, напряжений и заряда. Нуль расположен на середине шкалы гальванометра, что позволяет фиксировать токи противоположных направлений.

Сила и направление тока, протекающего через гальванометр, будет определяться разностью ε_x и U_K (см. рис. 4). При равенстве этих величин **сила тока в цепи равна нулю**, и «индикатор равенства» даёт нулевое показание. Таким образом, плавно регулируя U_K , можно добиться нулевого показания гальванометра. Тогда неизвестная измеряемая ЭДС ε_x равна известному компенсирующему напряжению U_K .



Рис 4.

Электрическая схема установки для измерения ЭДС методом компенсации

Компенсирующий источник тока с ЭДС ε_0 , которая больше, чем ЭДС ε_x исследуемого элемента, $\varepsilon_0 > \varepsilon_x$, замыкают на реохорд (рис. 5). **Реохордом** называется однородный никромовый провод (AB на рис. 5) в виде струны, укрепленный на панели с измерительной линейкой и подвижным контактом C .

К концу A реохорда, к которому подключен положительный полюс источника ε_0 , присоединяют положительный полюс исследуемого элемента ε_x . Отрицательный полюс элемента ε_x через **гальванометр** G с нулем на середине шкалы подключают к по-

движному контакту реохорда C . Таким образом компенсирующий источник ε_0 включен навстречу исследуемому источнику ε_x .

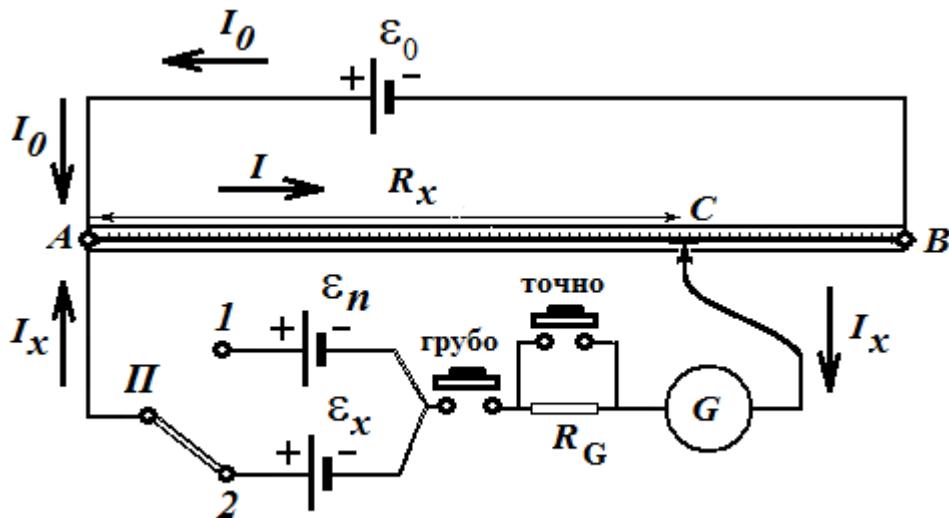


Рис. 5.

При перемещении подвижного контакта изменяется разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_C$ на участке AC реохорда и ток, текущий через подключенный параллельно этому участку источник ε_x .

Если разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_C$ не будет равна ЭДС исследуемого элемента, то по ветви с гальванометром потечет ток, вследствие чего стрелка гальванометра отклонится.

Если разность потенциалов в точках A и C будет меньше ЭДС элемента ε_x , ток будет течь в одном направлении (стрелка гальванометра отклонится в одну сторону); если больше, то - в противоположную (стрелка отклонится в другую сторону).

Если разность потенциалов в точках A и C будет равна ЭДС элемента ε_x , тока не будет (стрелка гальванометра не отклонится).

Так как $\varepsilon_0 > \varepsilon_x$, то на реохорде AB всегда будет такая точка, разность потенциалов между которой и точкой A будет равна электродвижущей силе исследуемого элемента. Перемещая контакт C вдоль реохорда, ищут такое его положение, при котором в контуре с элементом ε_x тока не будет.

Тем самым достигается **компенсация** падения напряжения на участке AC реохорда и подключенной к этому участку электродвижущей силы ε_x , и **источник ε_x оказывается обесточенным**, а его ЭДС будет равна разности потенциалов $\varphi_A - \varphi_C$.

Если ε_0 – ЭДС компенсирующего источника, R – сопротивление всего реохорда, то сила тока через реохорд будет

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R} , \quad (4)$$

Если R_x – сопротивление участка AC , то разность потенциалов

$$\varphi_A - \varphi_C = IR_x = \frac{\varepsilon_0}{R} R_x . \quad (5)$$

Следовательно, ЭДС ε_x испытуемого элемента будет

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_0}{R} R_x. \quad (6)$$

Затем заменяют испытуемый элемент *нормальным*, ЭДС ε_n которого известна очень точно, и снова ищут такое положение подвижного контакта C , при котором в ветви с элементом тока не будет. Как и в предыдущем случае,

$$\varepsilon_n = \frac{\varepsilon_0}{R} R_n. \quad (7)$$

Разделив выражение (6) на выражение (7), получим

$$\varepsilon_x = \varepsilon_n \frac{R_x}{R_n}. \quad (8)$$

Т. к. сопротивление участка реохорда пропорционально его длине $R = \rho \frac{l}{S}$, то в полу-

ченной формуле можно заменить отношение сопротивлений $\frac{R_x}{R_n}$ на отношение длин

$$\frac{l_x}{l_n} :$$

$$\varepsilon_x = \frac{l_x}{l_n} \varepsilon_n. \quad (9)$$

Таким образом, измерение ЭДС ε_x сводится к отсчету по шкале реохорда показаний l_x при компенсации неизвестной ЭДС ε_x и показаний l_n при компенсации известной ЭДС ε_n с последующим расчетом по формуле (9).

В состав установки входят:

- источник постоянного тока В5-46 с ЭДС ε_0 ;
- *рутнно-кадмийный нормальный элемент Вестона* ε_n с ЭДС = 1,0183 В, при $t = 20^\circ\text{C}$;
- исследуемый гальванический элемент (щелочной аккумулятор) с ЭДС ε_x ;
- высокочувствительный гальванометр G с нолем на середине шкалы;
- реохорд с движком C , длина струны реохорда 100 см;
- переключатель P , служащий для поочередного подключения к реохорду источника ε_0 и элемента ε_n ;
- кнопка «грубо» позволяет замыкать и размыкать цепь на короткое время;
- последовательно в цепь гальванометра включено большое сопротивление R_G (примерно 10 кОм) с целью защиты гальванометра от больших токов при грубой установке стрелки на ноль;
- кнопка «точно» шунтирует сопротивление R_G в цепи гальванометра при точной установке стрелки гальванометра на ноль.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки (собрана на панели).
2. Установить движок реохорда C на отметке 10-15 см.
3. Включить источник с ЭДС ε_0 .
4. Замкнуть переключатель P в положение ε_x . При этом стрелка гальванометра G отклонится в ту или в другую сторону.
5. Нажать кнопку «грубо» и, перемещая движок реохорда C , установить стрелку гальванометра G на ноль (грубо). Не отжимая кнопки «грубо», нажать кнопку «точно» и установить стрелку гальванометра G на ноль (точно).
6. Отсчитать длину участка реохорда l_x (в мм) и записать в таблицу. Измерения провести не менее 3 раз по выше изложенной методике, предварительно смешав движок реохорда от установленного ранее значения в ту или в другую сторону.
7. Перевести переключатель в положение ε_n (отсоединить исследуемый элемент с ЭДС ε_x и подсоединить вместо него элемент Вестона ε_n). По методике изложенной в пунктах 5,6 найти условие компенсации для ε_n . Записать в таблицу длину участка струны реохорда l_n , соответствующую условию компенсации известной ЭДС.
8. Определить неизвестную ЭДС и произвести статистическую обработку результатов измерений.

Таблица

i	l_{xi} , мм	l_n , мм	$\varepsilon_{xi} =$ $\varepsilon_n(l_{xi}/l_n)$	$\langle \varepsilon_x \rangle$, В	$\Delta \varepsilon_{xi} =$ $\langle \varepsilon_x \rangle - \varepsilon_{xi}$	$(\Delta \varepsilon_{xi})^2$	S	$\langle \Delta \varepsilon_x \rangle$	
1									
2									
3									
4									
5									

9. Окончательный результат записать в виде

$$\varepsilon_x = (\langle \varepsilon_x \rangle \pm \Delta \langle \varepsilon_x \rangle), \text{ В}$$

Контрольные вопросы

- Какие силы называют сторонними? Дайте определение ЭДС источника тока.
- Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи.
- Почему обыкновенным вольтметром невозможно измерить ЭДС источника тока?
- В чем заключается метод компенсации?

Литература

1. Кучерук И.М., Горбачук И.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2.
2. Савельев И.В. Курс физики. Учеб: В 3-х т. Т. 2 Электричество. Колебания и волны. – М.: Наука, 1989.

Составили И.П.Гаркуша, Л.И.Барташевская