

Кафедра «Моделирование систем и информационные технологии»

Определение Э.Д.С. элемента методом компенсации

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «Общая физика»

Цель работы:

Оформление с одним из методов измерения ЭДС источника тока.

ВВЕДЕНИЕ

Электродвижущей силой (ЭДС) источника тока называют разность потенциалов на его полюсах в разомкнутом состоянии. Когда же источник тока замкнут,

ЭДС равна отношению работы dA перемещения заряда по замкнутому контуру, содержащему этот источник тока, к величине переносимого заряда dQ :

$$\varepsilon = dA / dQ \quad (1)$$

Если dA выражено в джоулях, dQ - в кулонах, то ЭДС получится в вольтах. Работу перемещения заряда dA можно разделить на работу dA_1 , совершаемую во внешних (по отношению к источнику тока) участках цепи, и работу dA_2 , совершаемую при переносе заряда dQ через самый источник тока. Обозначим падение потенциала во внешних участках цепи через U_1 , а внутри самого источника - через

U_2 . Тогда: $dA_1 = U_1 dQ_1$ $dA_2 = U_2 dA_2$

Допустим, сила тока в цепи равна I , сопротивление источника тока равно r , а сопротивление внешних участков цепи равно R . Тогда

$$U_1 = I R \quad U_1 dQ + U_2 dQ$$
$$\varepsilon = \frac{U_1 dQ + U_2 dQ}{dQ} = I (R + r)$$
$$U_2 = I r$$

Следовательно, $I = \varepsilon / (R + r)$ (закон Ома для замкнутой цепи).

Если сопротивление r источника тока значительно меньше внешнего сопротивления R , то $\varepsilon = I R$. На этом основано измерение ЭДС вольтметром, имеющим сопротивление значительно больше, чем внутреннее сопротивление источника тока.

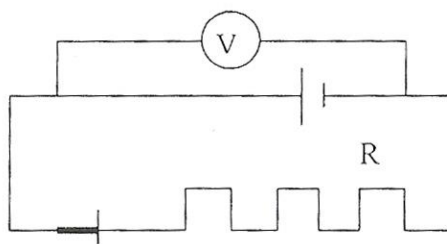


Рис.1

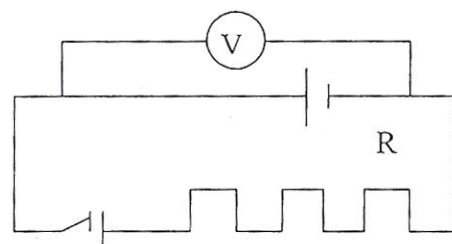


Рис.2

На рис.1 изображено включение вольтметра к полюсам источника, замкнутого на некоторое сопротивление R . Очевидно, вольтметр показывает не ЭДС источника, а только разность потенциалов на его полюсах, которая равна падению потенциала во внешних участках цепи.

Поэтому показания вольтметра V будут различными в зависимости от силы тока I или внешнего сопротивления R .

На рис.2 источник замкнут только через вольтметр. Если сопротивление вольтметра достаточно велико по сравнению с сопротивлением источника тока, то сила тока в цепи будет мала, и падением потенциала внутри источника тока I_r можно пренебречь. Тогда показания вольтметра $V = I_r$ можно считать почти

равным ЭДС источника тока E , чем больше сопротивление вольтметра, тем меньше разница между его показанием и ЭДС источника тока.

Электростатические вольтметры, не замыкающие источника тока, дают показания, в точности равные ЭДС источника тока.

Таким образом, для точного измерения ЭДС необходимо, чтобы применяемый измерительный прибор совершенно не потреблял тока. Электростатические приборы, удовлетворяющие этому условию дороги и рассчитаны на высокие напряжения. Поэтому для измерения ЭДС разработан особый метод основанный на сравнении ЭДС данного источника тока с ЭДС эталона. Для этой цели собирается установка, схема которой приведена на рис.3.

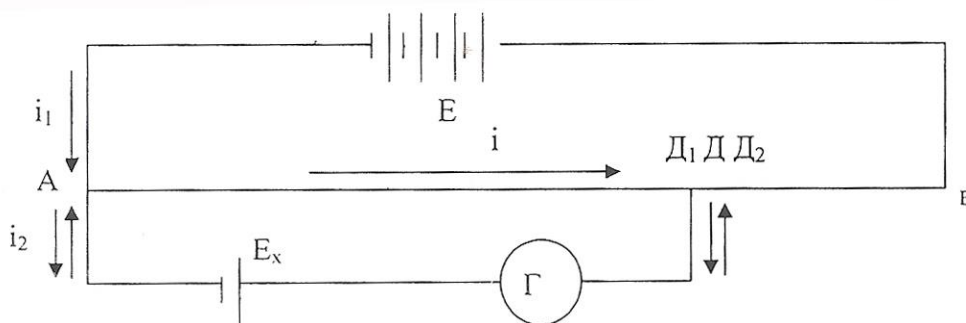


Рис.3

Вспомогательный источник тока E (ЭДС которого несколько больше измеряемого ЭДС) вызывает ток в однородной струне АВ реохорда, вдоль которого таким образом создается линейное падение потенциала. Испытуемый источник тока E_x присоединяется к точке А полюсом того же знака, что и E ; второй его полюс присоединяется к движку D , перемещающемуся вдоль реохорда АВ. Очевидно, можно найти такое расположение движка на реохорде, чтобы разность потенциалов V между точками А и Д в точности равнялась ЭДС E_x испытуемого источника тока. Тогда в цепи $AE_x\Gamma D$ тока не будет; если сдвинуть движок от этой точки вправо, (к точке D_1), то разность потенциалов на участке AD_1 будет больше, и вспомогательный источник E вызывает ток не только по АВ, но и по $AE_x\Gamma D_1$. Наоборот, если передвинуть движок влево (к точке D_2), то ЭДС E_x сможет преодолеть разность потенциалов на участке AD_2 , и вызванный ею в этом участке ток добавится к тому току, который вызывается вспомогательным источником тока E . Таким образом, для измерения E_x необходимо найти точку D на реохорде, при которой гальванометр Γ покажет отсутствие тока в цепи испытуемого источника.

Допустим, при произвольном положении движка по цепи текут токи, показанные на рис.3. На основании закона Кирхгофа: для точки А

$$i = i_1 + i_2 \quad (3)$$

Для контура АЕВДА: $\varepsilon = i_1 r + i_1 R_1 + i (R - R_1) \quad (4)$

где r - сопротивление участка АЕВ

R - сопротивление струны реохорда АВ

R_1 - сопротивление струны реохорда АД

Для контура АДЕ_xГА: $\varepsilon = i_2 (r_2 + R_2) + i R_1 \quad (5)$

где R_2 - сопротивление гальванометра

r_2 - сопротивление участка АЕ_xД

Если ток в цепи АЕ_хД испытуемого элемента отсутствует (что достигается подбором положения движка на реохорде), то ЭДС испытуемого элемента будет компенсирована падением потенциала на участке АД реохорда, и тогда $i_2=0$ $i = i_1$
 Формулы (4) и (5) переписутся так:

$$\varepsilon = i (R + r) \quad (6)$$

$$\varepsilon = i R_1 \quad (7)$$

Разделив (6) и (7), найдем:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon R_1}{R + r} \quad (8)$$

Включив вместо испытуемого элемента Е_х нормальный элемент (этalon) Е₀, подбираем новое движение движка реохорда, при котором гальванометр не обнаруживает наличие тока в его цепи. Тогда аналогично формуле (8) получим:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon R_2}{R + r} \quad (9)$$

где **R₂** - сопротивление части струны реохорда от точки А до нового положения движка.

Разделив (8) на (9), получим:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_x} = \frac{R_1}{R_2} \quad (10)$$

Считая струну реохорда однородной и одинакового сечения по всей длине **L**

мы можем принять, что сопротивление ее участков пропорционально длине, и тогда формула (10) будет иметь вид:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 \frac{L_1}{L_2} \quad (11)$$

где **L₁** - расстояние АД при включении испытуемого элемента

L₂ - расстояние АД при включении эталонного элемента

Отсюда искомая ЭДС:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_0 (L_1 / L_2) \quad (12)$$

Описанный выше метод определения ЭДС называется *компенсационным*, т.к. сравниваемые ЭДС в момент отсчета компенсируются падением напряжения на отдельных участках струны реохорда, питаемого вспомогательной батареей.

Описание установки

К реохорду АВ параллельно подключаются две ветви: первая, состоящая из вспомогательного источника тока E и реостата R , к точкам А и В через клеммы (1) и (2) двойного ключа K ; вторая, состоящая из перекидного рубильника P , гальванометра Γ и защитного приспособления к нему $З$, - к точкам А и Д (движок) реохорда через клеммы (3) и (4) двойного ключа.

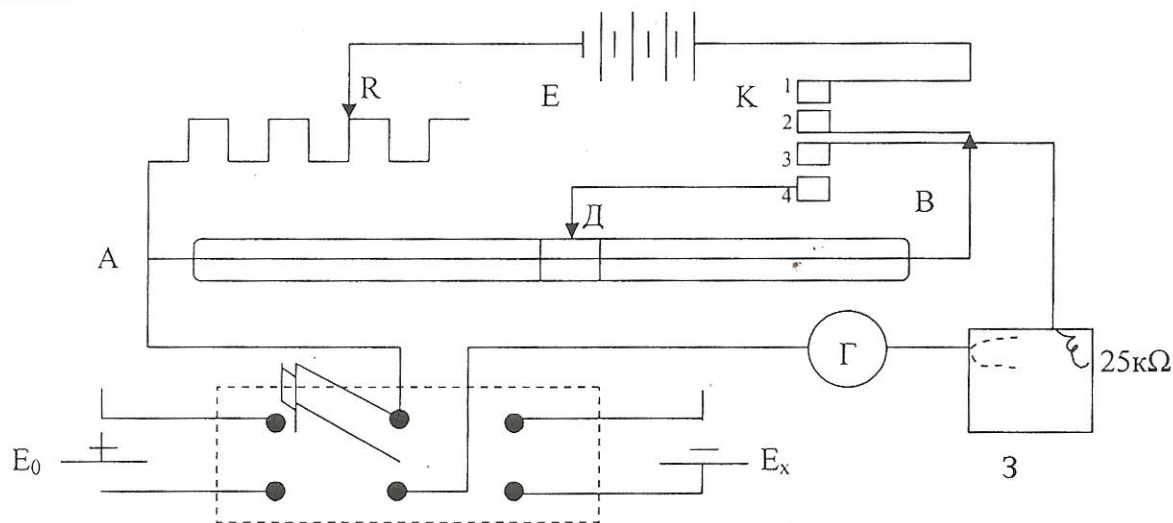


Рис.4

Применение перекидного рубильника, к клеммам которого присоединены испытуемый E_x и нормальный E_0 элементы, дают возможность быстрого включения то одного элемента, то другого. Необходимо следить, чтобы все источники тока (E , E_0 и E_x) подключались к точке А реохорда одноименными полюсами.

В качестве эталона E_0 берется нормальный элемент, ЭДС которого при 20°C равна 1,0183 и весьма мало изменяется от температуры и со временем (поляризация незначительна).

Положительным электродом в этом элементе служит ртуть, отрицательным - амальгама кадмия. Между ними помещается сернокислая ртуть (Hg_2SO_4) и раствор сернокислого кадмия (CdSO_4), см. Рис.5

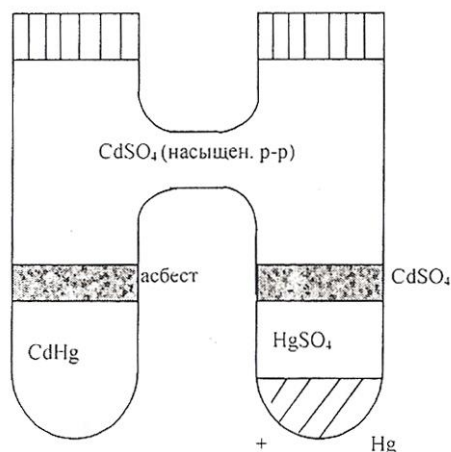


Рис.5

вспомогательный источник тока должен иметь достаточно стабильную ЭДС, несколько большую, чем ЭДС испытуемого и нормального элементов (иначе с помощью вспомогательного источника тока компенсировать ЭДС этих элементов невозможно). Поэтому в качестве вспомогательного источника тока E берется батарея аккумуляторов, отвечающих указанным условиям.

Наибольшая точность измерения получится, если компенсировать ЭДС испытуемого и эталонного источников падением на-

пряжения на возможно длинных участках струны реохорда. Поэтому в цепь вспомогательного источника тока включен реостат R , при помощи которого можно регулировать напряжение, подаваемое на реохорд.

Кроме того, реостат имеет назначение предупредить появление сильного то-ка, могущего вызвать поляризационные явления в элементах и заметно изменить

ЭДС вспомогательной батареи аккумуляторов или вызвать нагревание проводников.

Для этой же цели служит и двойной ключ K , благодаря которому сначала (через клеммы 1 и 2) включаются вспомогательный источник тока, а затем, когда уже появился компенсирующий ток, включается (через клеммы 3 и 4) испытуемый элемент.

Защитное приспособление 3 служит для предохранения гальванометра от сильных токов. Во время работы ползунков переводят сначала на клемму $25\text{к}\Omega$ и тогда последовательно с гальванометром включается сопротивление $25\text{к}\Omega$; затем положением движка реохорда добиваются нулевого положения стрелки гальванометра ползунков ставят на клемму 0; защитное сопротивление включается и точность измерения повышается.

Практические указания

При сборке схемы особое внимание обратить на следующие моменты:

1. Все источники тока E , E_0 , E_x должны присоединяться к точке А реохорда одноименными полюсами;
2. Реостат должен быть введен полностью;
3. Ползунков защитного приспособления 3 должен находиться на клемме $25\text{к}\Omega$
4. Замыкать цепь нужно, по возможности, на очень короткое время - во избежание заметных изменений ЭДС вследствие поляризационных явлений;
5. Не касаться руками одновременно обоих клемм нормального элемента (т.к. это вызовет его замыкание), и вообще обращаться с прибором весьма осторожно.

Таблица для записи результатов

№№ опытов	L_1	L_2	ε_0	ε_x
1				
2				
2				
Среднее				

Порядок работы

1. Соберите установку по схеме, указанной на рис.4, и после проверки собранной установки преподавателем или лаборантом включите перекидным ключом P испытуемый элемент E_x .
2. Переведите ключ защитного приспособления на клемму $25\text{к}\Omega$. На короткое время двойным ключом включите обе ветви (цепи вспомогательного и

испытываемого элементов). Реостатом R при этом должен быть включен полностью.

3. Перемещение движка D реохорда добейтесь нулевого положения стрелки гальванометра.
4. Переведите ключ защитного приспособления на клемму 0 и уточните положение движка D , при котором ток гальванометра равен нулю.
5. Переведите ключ защитного приспособления на клемму $25\text{к}\Omega$.
6. Измерьте длину струны реохорда L_1 от точки A до точки D .
7. Вместо испытываемого элемента E_x при помощи перекидного рубильника P включите эталонный элемент E_0 , найдите новое положение движка D на реохорде, при котором ток через гальванометр равен нулю. Ползунок реостата R должен оставаться в том же положении, в котором он находился при включении испытываемого элемента E_x .
8. Снова переведите ключ защитного приспособления на клемму $25\text{к}\Omega$.
9. Измерьте длину струны реохорда L_2 от точки A до точки D .
10. Вычислите ЭДС испытываемого элемента по формуле (12) и абсолютную погрешность результата.

Измерения ЭДС проделайте 3 раза и за окончательный результат возьмите среднее значение.