

Работа 4 (4.1, 4.2)

КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Компенсационные методы измерений основаны на прямом сравнении неизвестной величины, например, напряжения с известной, эталонной.

4.1. Потенциометр

Оборудование: потенциометр постоянного тока; нормальный элемент Вестона; источник вспомогательного напряжения; гальванометр; милливольтметр; термопара; нуль-термостат; печь с тиглем; трансформатор для питания печи; двухкоординатный самописец.

Потенциометрами называются приборы, предназначенные для измерения компенсационным методом электродвижущей силы (ЭДС) и напряжения, а также величин, функционально с ними связанных. В потенциометре постоянного тока (рис. 1) измеряемая ЭДС \mathcal{E}_x уравнивается (компенсируется) известным регулируемым напряжением U . О моменте равновесия судят по отсутствию тока через

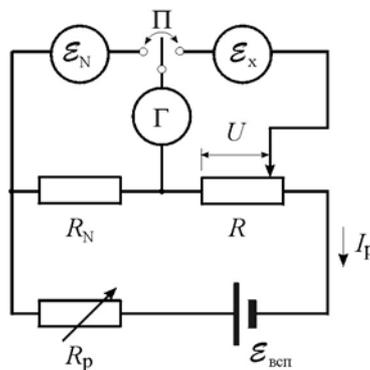


Рис. 1. Принципиальная схема потенциометра постоянного тока:
 \mathcal{E}_N , \mathcal{E}_x – известная и измеряемая ЭДС; I_p – рабочий ток;
 U – известное регулируемое напряжение; Γ – гальванометр;
 Π – переключатель рода работ, $\mathcal{E}_{всп}$ – источник вспомогательного напряжения.

гальванометр. Напряжение U получают как падение напряжения на известной части калиброванного сопротивления R от рабочего тока I_p . Значение I_p устанавливается при помощи регулируемого сопротивления R_p по данным сравнения падения напряжения на сопротивлении R_N с ЭДС \mathcal{E}_N эталона, в качестве которого обычно применяют нормальный элемент Вестона, воспроизводящий ЭДС с высокой стабильностью.

Важно отметить, что в момент измерения при нулевых показаниях гальванометра ток в цепи измеряемой ЭДС \mathcal{E}_x отсутствует. Таким образом, потенциометр является идеальным вольтметром с бесконечно большим входным сопротивлением.

Порядок работы с потенциометром

В работе применяется либо одноконтурный потенциометр Р-307, либо двухконтурный Р-37. Двухконтурный потенциометр имеет два делителя напряжения, подключаемых к независимым источникам вспомогательного напряжения, и потому требует установки рабочего тока в каждом контуре. В остальном процесс измерения на потенциометрах не отличается.

На лицевой панели потенциометра расположены переключатель рода работ, декадный переключатель (прецизионный делитель напряжения), клеммы для подключения источника (источников) вспомогательного напряжения Б, нормального элемента НЭ, гальванометра Г и два идентичных входа X_1 и X_2 для источника измеряемого напряжения.

Во избежание повреждения нормального элемента его следует подключать после источника вспомогательного напряжения, строго соблюдая полярность подключения. Имейте в виду, что нормальный элемент может необратимо выйти из строя, если его клеммы замкнуть сопротивлением меньше 1 МОм, пытаясь, например, измерить напряжение тестером или подключить к измерительным входам потенциометра. ЭДС нормального элемента Вестона немного зависит от температуры и в диапазоне рабочих температур меняется в пределах от 1,018 В до 1,019 В. Перед началом работ вам следует определить точное значение ЭДС нормального элемента по паспорту, находящемуся на рабочем столе, и установить это значение на потенциометре. Для этого переключатель, расположенный правее цифры 1,018 и проградуированный на последующие цифры в значении ЭДС, переведите в положение, соответствующее ближайшей к определенной вами величине.

Поставив переключатель рода работ в положение "НЭ" на потенциометре Р-307, либо поочередно в положения I_A , I_B на Р-37, установите рабочий ток при помощи переменных резисторов "грубо",

"средне", "тонко", добившись нулевых показаний гальванометра при нажатой кнопке "измерение"¹. Хотя кнопку "измерение" можно зафиксировать в нажатом положении поворотом на угол 90°, разумнее нажимать ее кратковременно с тем, чтобы, увидев, в каком направлении и как быстро передвигается зайчик гальванометра, понять, куда следует крутить ручки для уравнивания. Часто после нажатия кнопки "измерение" зайчик резко отклоняется за пределы шкалы, надолго пропадая или резко перемещаясь из одного "зашкаливания" в другое. Происходит это из-за слабого демпфирования подвижной системы гальванометра. Возвращение зайчика к нулевой отметке обеспечивается шунтированием гальванометра, для чего следует нажать кнопку "успокоение" при отпущенной кнопке "измерение".

Для измерения напряжения, подключенного ко входу "X₁", необходимо установить переключатель рода работ в положение "X₁" и, поворачивая ручки декадного переключателя (многоступенчатого магазина сопротивлений), добиться отсутствия тока через гальванометр при нажатии кнопки "измерение". По оцифровке декадного переключателя непосредственно прочитывается значение измеренного напряжения.

Когда измерения или настройка не производятся, переключатель рода работ следует поставить в нейтральное положение.

Термопара

В данной работе для измерения температуры используется термопара – датчик температуры, состоящий из двух соединенных между собой разнородных проводников. Действие термопары основано на том, что некоторые из электронов, находящихся вблизи границы и имеющих достаточно большую скорость, выходят за границу металла, преодолев потенциальный барьер, именуемый работой выхода. При соединении двух разнородных металлов может возникнуть нескомпенсированный поток электронов с одного металла на другой, поскольку концентрация свободных электронов и работа выхода этих металлов отличаются. Этот нескомпенсированный поток приводит к накоплению отрицательного заряда на одном из проводников до тех пор, пока возникающее электрическое поле, способствующее увеличению меньшего из потоков в одном направлении и препятствующее большему, не скомпенсирует полностью эти встречные потоки. При увеличении температуры увеличивается количество электронов, преодолевающих потенциальный

¹ На потенциометре Р-307 кнопка измерения обозначена как "0".

барьер, и, следовательно, увеличивается термо-ЭДС. Именно зависимость термо-ЭДС от температуры делает возможным создание такого простого и надежного датчика температуры, как термопара.

Однако, как только вы попытаетесь измерить термо-ЭДС, вы неизбежно внесете в цепь еще как минимум два термопарных контакта в местах соединения провода термопары с прибором, и, как легко понять, получите при измерении нуль, если все термоконтакты находятся при одинаковой температуре. Напряжение появится только в том случае, если спай термопары и соединение проводов термопары с измерительным прибором имеют разную температуру. Поэтому для измерения необходимо знать и поддерживать постоянную температуру мест соединений. Однако, если вы соедините две абсолютно одинаковые термопары навстречу друг другу, как реализовано в данной работе (такое соединение называется дифференциальной термопарой), вы исключите влияние соединений и получите то, что измеряемое напряжение зависит только от разности температур спаев термопар, часто называемых "горячим" и "холодным".

При подборе сплавов для термоэлектродов стремятся к тому, чтобы возникаемая термо-ЭДС \mathcal{E} линейно росла с ростом температуры T . В этом случае измеряемая разница температур ΔT "горячего" и "холодного" спаев термопары рассчитывается по следующей простой формуле:

$$\Delta T = K^{-1} \mathcal{E},$$

где $K = d\mathcal{E}/dT$ – чувствительность термопары.

Двухкоординатный самопишущий прибор

Для фиксации на бумаге зависимости напряжения термопары от времени используется самописец – двухкоординатный самопишущий прибор типа Н307. В то время как исследуемый сигнал подается на вход Y , перемещая пишущий узел в вертикальном направлении, в горизонтальном направлении пишущий узел перемещается с постоянной скоростью. Поскольку самописцы имеют свои особенности, укажем на некоторые часто встречающиеся ошибки при работе с ними.

Во-первых, не выбирайте в качестве точки начала записи угол или край диаграммы. То, что пишущий узел установлен в крайнюю позицию, вовсе не означает, что напряжение равно нулю. Возможно, смещая пишущий узел электрическим корректором, вы прижали его к ограничителю, и прибор "зашкалил", но этого не видно. Теперь "отрыв" пишущего узла от ограничителя произойдет только тогда, когда напряжение достигнет некоторого порогового значения. Поэтому, чтобы не потерять начальный участок записи, сдвиньте начальную точку немного от края.

Во-вторых, не забывайте проводить “нулевые” линии, соответствующие отсутствию напряжения на входе.

В третьих, любой самописец имеет ступенчатый и плавный регуляторы чувствительности. Для проведения измерений плавный регулятор должен быть выключен путем его поворота против часовой стрелки вплоть до щелчка. Очень часто забывают выключить плавный регулятор и, естественно, получают несоответствие чувствительности прибора значению, указанному на ступенчатом переключателе.

Задания

1. Измерение ЭДС источника с большим внутренним сопротивлением

Измерьте с помощью потенциометра и милливольтметра напряжение, возникающее между двумя проводниками из различных металлов, помещенными в стакан с водопроводной водой. Объясните различие показаний. Оцените внутреннее сопротивление источника ЭДС.

2. Определение чувствительности термопары

Соберите схему, показанную на рис. 2. Установите чувствительность самописца 1 мВ/см. Выберите такую полярность подключения термопары, чтобы при нагреве "горячего" спая пишущий узел самописца не перемещался в направлении к ближайшему ограничителю. Поместив оба спая термопары в сосуд с плавящимся в воде льдом и запустив блок временной развертки на одном из "быстрых" пределов, запишите горизонтальную "нулевую" линию, соответствующую нулевому напряжению на входе самописца.

Переключите скорость развертки на предел 50 с/см. Расплавьте олово, включив нагреватель печи. Поместите "горячий" спай термопары в расплав, включите самописец и выключите нагреватель печи. Кристаллизация, происходящая при температуре 231,9 °С, будет отмечена характерным плато. Повторите опыт несколько раз в режиме нагрева (плавления) и в режиме охлаждения (кристаллизации).

Определите чувствительность термопары.

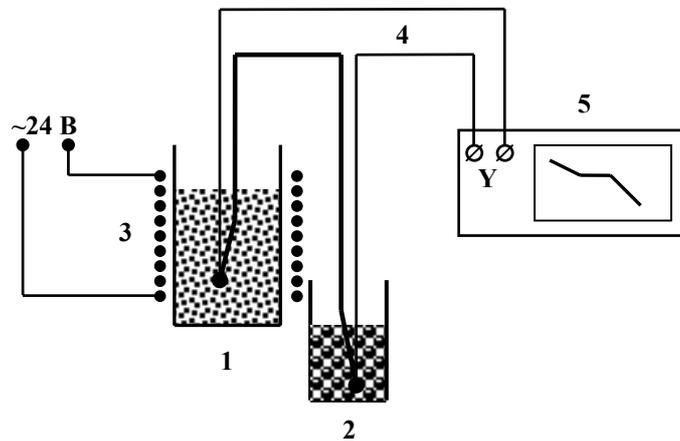


Рис. 2. Схема измерения температуры плавления олова.

1 – тигель с оловом; 2 – сосуд с плавящимся льдом; 3 – нагреватель;
4 – дифференциальная термопара, подключаемая к каналу “У”
самописца; 5 – самописец.

3. Определение температуры кипения воды

Налейте небольшое количество воды поверх остывшего ниже 100 °С олова, включите нагреватель, запишите термограмму, измерьте ЭДС термопары на плато и, используя полученное значение чувствительности термопары, определите температуру кипения воды.

4. Определение температуры собственного тела

Поместив "горячий" спай термопары между пальцами правой, затем левой руки, а затем подмышку, определите температуру ваших рук и вашего тела. Для увеличения точности измерений не забудьте переключить чувствительность самописца.

Отсоедините термопару от самописца и подключите её к потенциометру. Повторите измерение температуры собственного тела.