

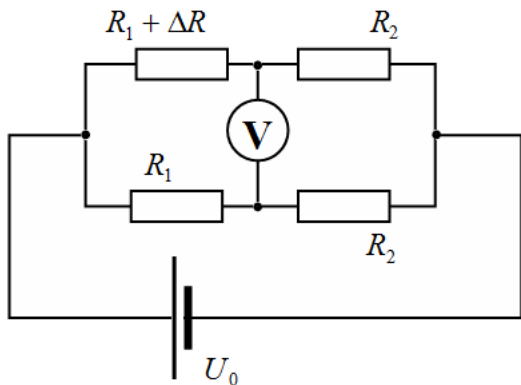
Балансировка электрического моста

Условие

Задача 10-2. «Балансировка электрического моста»

Оборудование: мультиметр, два одинаковых постоянных резистора, проволочный резистор, источник постоянного напряжения 4,5 В, соединительные провода, кусочек графитового карандаша.

Различные мостовые схемы широко используются в электротехнических измерениях. В данной работе Вам необходимо исследовать мостовую схему, показанную на рисунке. В качестве резисторов R_2 используйте постоянные резисторы. В качестве резисторов R_1 и $R_1 + \Delta R$ - проволочный резистор, правильно его подключая.



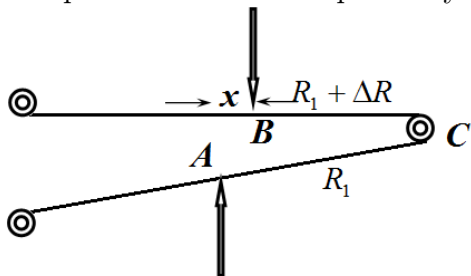
Подключайте источник напряжения, только на время проведения измерений!

Часть 1. Сопротивление проволоки реостата.

1.1 Используя мультиметр в режиме омметра, измерьте зависимость сопротивления проволоки от числа подключенных последовательно звеньев. Постройте график полученной зависимости. 1.2 Рассчитайте среднее сопротивление одного звена. Оцените погрешность найденного значения. Рассчитайте сопротивление единицы длины проволоки. 1.3 Измерьте электрические сопротивления постоянных резисторов.

Часть 2. Балансировка моста.

Соберите электрическую схему, показанную на рисунке. В качестве резистора R_1 используйте приблизительно половину одного звена (лучше наклонного) проволочного резистора (от средней клеммы C до точки A , положение которой не меняйте). В качестве изменяющегося резистора $R_1 + \Delta R$ используйте соседнее звено (от клеммы C до точки A , которую необходимо смещать). Перемещая контакт B , можно добиться того, что напряжение на вольтметре будет равно нулю (в этом положении мост сбалансирован). Далее смещение x точки контакта B измеряйте по миллиметровой бумаге, отсчитывая его от точки, где мост был сбалансирован.



2.1 Проведите измерения зависимости показаний вольтметра U от смещения контакта B x . Постройте график полученной зависимости.

2.2 Проведите аналогичные измерения, используя в качестве резистора R_1 приблизительно полтора звена проволочного резистора. Нарисуйте схему подключения контактов в этом

случае. Смещения точки контакта также отсчитывайте от точки баланса моста. Постройте график полученной зависимости на другом бланке.

2.3 Получите теоретическую зависимость показаний вольтметра от дополнительного сопротивления ΔR .

2.4 Сравните экспериментальную зависимость, полученную в п.2.1 с теоретической. Покажите, что экспериментальные данные описываются полученной теоретической зависимостью. Не стремитесь точно рассчитать численно – большинство параметров вашей цепи известны приближенно. Покажите, что вид зависимости получен правильный (**подсказка: постройте линеаризованный график экспериментальной зависимости**)

2.5 Объясните, почему экспериментальная зависимость, полученная в пункте 2.2, является практически линейной. Рассчитайте коэффициент наклона экспериментальной зависимости $\kappa = \frac{\Delta U}{\Delta x}$. Рассчитайте погрешность найденного значения.

Часть 3. Измерение малых сопротивлений.

3.1 Используя схему, использованную в п. 2.2 измерьте сопротивление соединительного провода. Грубо оцените относительную погрешность измерения сопротивления. Кратко опишите методику измерений, приведите результаты измерений и расчетов.

3.2 Используя ту же схему измерьте электрическое сопротивление кусочка графитового карандаша. Кратко опишите методику измерений, приведите результаты измерений и расчетов. Оценка погрешности не требуется.

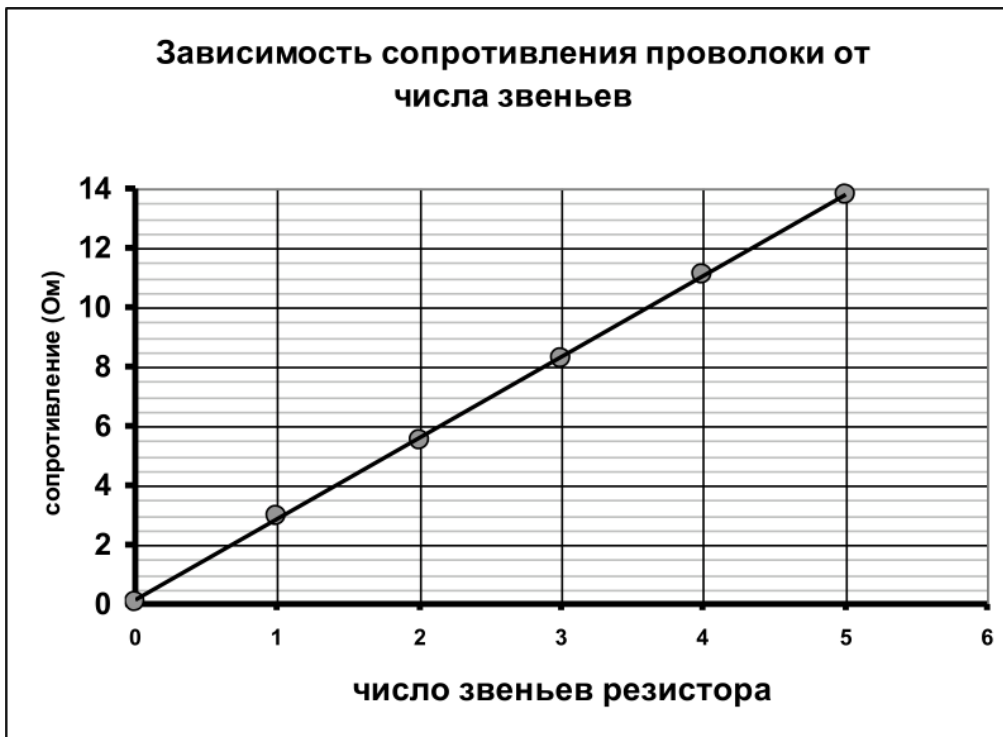
Решение

Задача 10-2. «Балансировка электрического моста»

1.1 Результаты измерений зависимости сопротивления проволоки от числа подключенных звеньев приведены в Таблице 1 и показаны на графике

Таблица 1.

n	R , Ом
1	3,0
2	5,5
3	8,3
4	11,1
5	13,8



1.2 Данная зависимость является линейной

$$R = R_0 n + r_0. \quad (1)$$

Параметры этой зависимости (рассчитанные по МНК) оказались равными Среднее сопротивление одного звена: $R_0 = (2,72 \pm 0,06) \text{ Ом}$; Паразитное сопротивление соединительных проводов $r_0 = 0,18 \text{ Ом}$ Средняя длина одного звена равна $l = 13 \text{ см}$, поэтому сопротивление единицы длины проволоки равно

$$\rho = 0,21 \frac{\text{Ом}}{\text{см}}. \quad (2)$$

С относительной погрешностью, равной относительной погрешности измерения сопротивления R_0 : $\varepsilon_\rho \approx 2\%$

1.3 Сопротивления резисторов $R_2 = 2,0 \text{ Ом}$

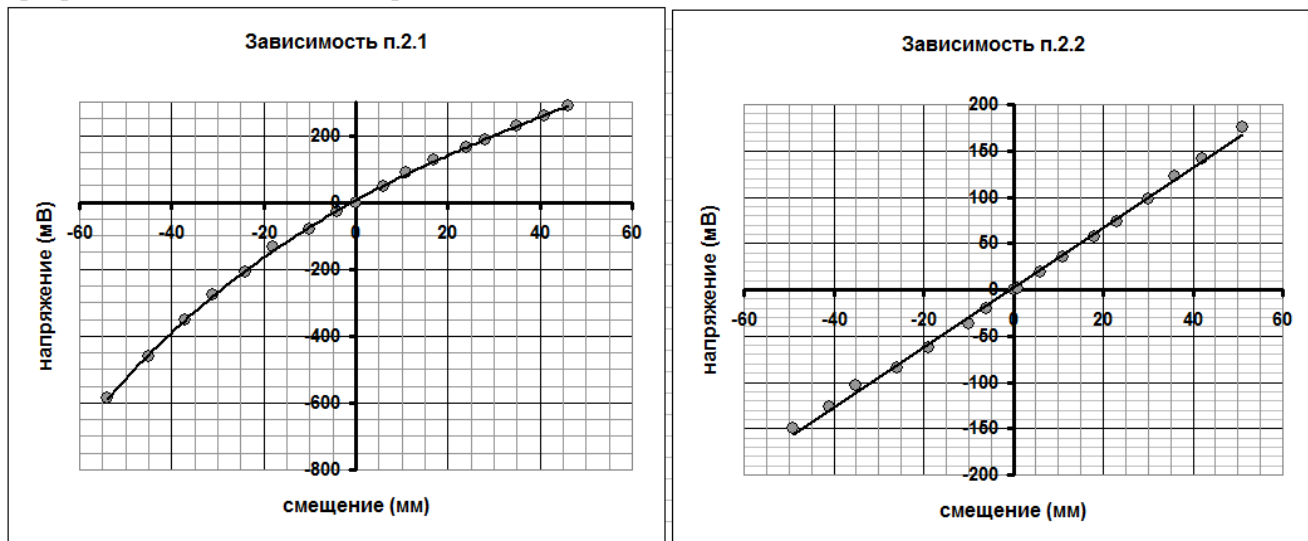
Часть 2. Балансировка моста.

2.1-2.4 Результаты измерений зависимости показаний вольтметра от сдвига точки контакта приведены в таблице 2 и на графиках.

Таблица 2.

П. 2.1		П 2.2	
X, мм	U, мВ	X, мм	U, мВ
-54	-587	-49	-150
-45	-460	-41	-127
-37	-352	-35	-104
-31	-276	-26	-85
-24	-209	-19	-62
-18	-135	-10	-37
-10	-79	-6	-20
-4	-29	0	0
0	0	1	2
6	47	6	19
11	88	11	35
17	127	18	57
24	163	23	74
28	188	30	98
35	230	36	122
41	260	42	141
46	287	51	175

Графики зависимостей напряжения от смещения точки контакта.



2.3 Теоретическая зависимость показаний вольтметра от сопротивлений цепи проводится стандартными методами.

Напряжение на вольтметре (током через вольтметр можно пренебречь) равно разности напряжений на резисторах R_2 (между точками AC и BC)

$$U = U_{AC} - U_{BC} \quad (1)$$

Эти напряжения выражаются через силы токов в верхней и нижней ветвях моста:

$$I_1 = \frac{U_0}{R_1 + \Delta R + R_2}$$

$$I_2 = \frac{U_0}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Таким образом, значения напряжения на вольтметре задается формулой

$$U = I_1 R_2 - I_2 R_2 = U_0 R_2 \left(\frac{1}{R_1 + \Delta R + R_2} - \frac{1}{R_1 + R_2} \right) = -U_0 R_2 \frac{\Delta R}{(R_1 + R_2)(R_1 + \Delta R + R_2)} \quad (3)$$

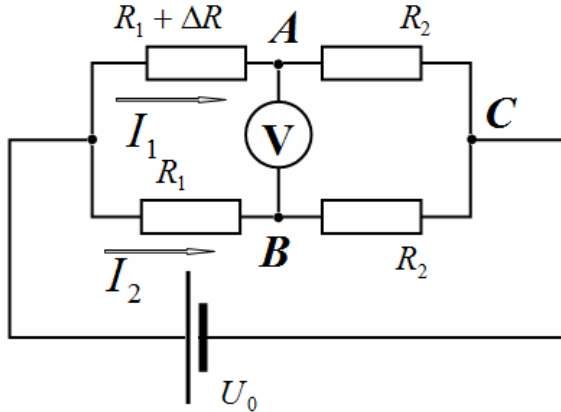
Знак в данном случае не существен, так как вольтметр измеряет напряжение независимо от знака подключения.

Для проверки применимости этой формулы к описанию экспериментальных данных заметим, что зависимость напряжения от величины смещения может быть линеаризована, если перейти к обратным единицам:

$$\frac{1}{U} = -\frac{(R_1 + R_2)}{U_0 R_2} \frac{R_1 + \Delta R + R_2}{\Delta R} = -\frac{(R_1 + R_2)}{U_0 R_2} \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{\Delta R} \right) = B \left(1 + \frac{b}{x} \right) \quad (4)$$

Здесь учтено, что дополнительное сопротивление ΔR пропорционально смещению x . Как следует из этой формулы величина обратная напряжению $\frac{1}{U}$ линейно зависит от $\frac{1}{x}$. Для проверки применимости формулы построим линеаризованный график по данным п.2.1.

При построении опущены центральные точки, в которых значения обратных величин очень велики, кроме того, для них анализируемая зависимость практически линейна. График показывает, что построенная теоретическая модель корректно описывает экспериментальные данные.



Зависимость, полученная при выполнении пункта 2.2 практически линейна. Что легко объяснить с помощью формулы (3). В этом случае изменение сопротивления мало, по сравнению с сопротивлениями резисторов моста, поэтому величиной ΔR в знаменателе можно пренебречь. Тогда:

$$U = -U_0 R_2 \frac{\Delta R}{(R_1 + R_2)(R_1 + \Delta R + R_2)} \approx -\frac{U_0 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \Delta R = Ax. \quad (5)$$

То есть в данном случае измеряемое напряжение пропорционально сдвигу точки контакта, что и выполняется в этом эксперименте.

Коэффициент наклона данной зависимости равен

$$\kappa = \frac{\Delta U}{\Delta x} = (3,23 \pm 0,02) \frac{\text{мВ}}{\text{мм}} \quad (6)$$

Относительная погрешность определения этого коэффициента равна $\varepsilon_\kappa = 0,6\%$

Часть 3. Измерение малых сопротивлений.

3.1 Так как сопротивление провода мало, то сбалансировать мост при дополнительном подключении соединительного провода затруднительно. Поэтому предпочтительней является следующая методика измерений: добиваемся балансировки моста, после чего к резистору R_1 подключаем последовательно соединительный провод, сопротивление которого измеряем. При этом мост разбалансируется, напряжение на вольтметре становится равным

$$U_1 = 80\text{мВ}.$$

С помощью найденного коэффициента наклона, находим, что сопротивление провода равно сопротивлению проволоки реостата длиной $x = \frac{\Delta U}{\kappa} = \frac{80}{3,2} = 25\text{мм}$. Теперь учтем, что сопротивление единицы длины проволоки равно $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом}}{\text{см}}$, поэтому сопротивление соединительного провода равно

$$R_{\text{сп}} = \rho \cdot x = 0,21 \cdot 2,5 \approx 0,52\text{Ом}.$$

Погрешность определения этого сопротивления определяется погрешностями измерения сопротивления проволоки $\varepsilon_\rho = 2\%$ и коэффициента наклона $\varepsilon_\kappa = 0,6\%$, то есть составляет примерно 3%.

3.2 Для измерения сопротивления куска графитового стержня карандаша можно добиться повторной балансировки моста, т.е. сбалансировать мост, последовательно подключить графитовый стержень, измерить, при каком сдвиге достигается повторная балансировка. Измерения показали, что сдвиг при повторной балансировке равен 10,5 см. Это означает, что сопротивление стержня равно сопротивлению проволоки такой длины, т.е.

$$R_{\text{тр}} = 10,5 \cdot 0,21 = 2,2\text{Ом}.$$