

Мостовые схемы. Список оборудования

Условие

Задание 1. Мостовые схемы.

Список оборудования: Источник питания 4,5 В (ЛИП, или батарейка), мультиметр, резисторы 1 кОм, 2 кОм, 100 кОм, 200 кОм, реостат 6 Ом (лучше больше примерно 15 Ом), соединительные провода, ключ.

Мультиметром можно измерять напряжение, сопротивление, силу тока. **При измерении сопротивления цепь должна быть отключена от источника питания.** Сопротивление мультиметра в режиме измерения напряжения больше 1 МОм. Сопротивление мультиметра в режиме измерения силы тока составляет несколько Ом

Часть 1. Подготовительная.

1.1 Используя мультиметр в качестве омметра измерьте сопротивления выданных вам резисторов и полное сопротивление реостата (указанные значения сопротивлений являются приближенными). Результаты представьте в таблице. В дальнейшем используйте эти обозначения.

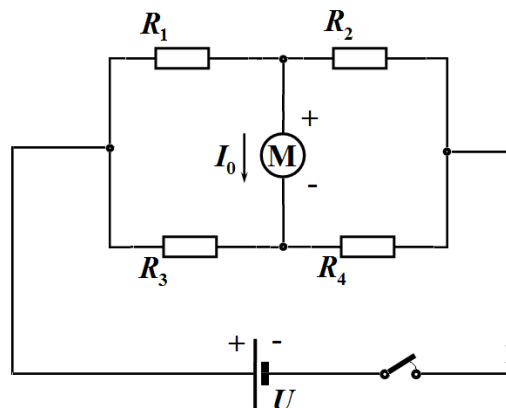
	Обозначение	Указанное сопротивление	Измеренное сопротивление
1	r_1	1 кОм	
2	r_2	2 кОм	
3	r_3	100 кОм	
4	r_4	200 кОм	
5	r_0 (реостат)	6 Ом	

1.2. Измерьте сопротивление мультиметра в режиме измерения силы тока (в диапазонах 200 мА, и 20 мА). 1.3. Измерьте сопротивление мультиметра в режиме измерения напряжения (в диапазонах 20 В, и 2000 мВ).

В п.1.2 – 1.3 приведите электрические схемы и расчетные формулы, использованные вами.

Часть 2. Мостовая схема.

Для точных измерений широко используется мостовая схема, приведенная на рисунке. На схеме буквой **М** обозначен измерительный прибор (мультиметр), который может работать в режиме измерения напряжения (вольтметр) и в режиме измерения силы тока (амперметр). При измерениях обязательно соблюдайте поляр-



ность подключения источника и мультиметра. Приводите результаты измерений сил токов и напряжений с учетом знаков. Нас будут интересовать значения силы тока мультиметр, когда он работает в режиме амперметра I_0 , и напряжение на мультиметре U_0 , когда он работает в режиме вольтметра.

2.1 (Теоретический) В качестве измерительного прибора используется вольтметр. Рассчитайте значение напряжения, которое будет показывать вольтметр в данной схеме.

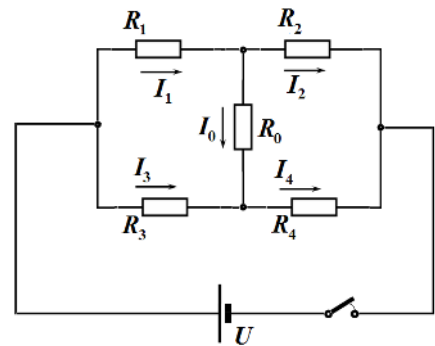
2

2.2 (теоретический). В качестве измерительного прибора используется амперметр. Рассчитайте значение силы тока, которое будет показывать амперметр.

Подсказки.

1. Внутренним сопротивлением источника пренебрегайте. 2. При выводе формул используйте разумные приближения, принимая во внимание численные значения параметров приборов, полученные вами в Части 1. 3. Не стремитесь получить точные выражения. Чтобы избавить вас от этой изнурительной работы приведем точную формулу¹ для силы тока в цепи, показанной на рис. 2:

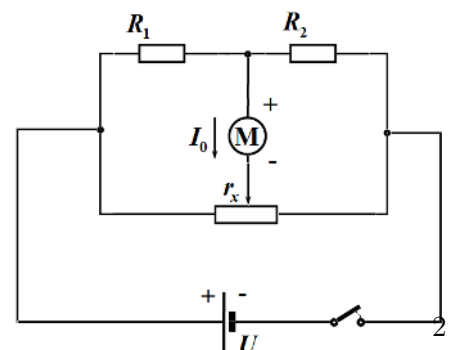
$$I_0 = U \frac{\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_4 R_3}{R_3 + R_4} + R_0}$$



$$I_0 = U \frac{\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_4 R_3}{R_3 + R_4} + R_0}$$

2.3 Используя в качестве резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 различные комбинации выданных вам резисторов r_1, r_2, r_3, r_4 измерьте значения сил токов в схеме 1 (когда мультиметр работает в режиме амперметра, и значения напряжений, когда мультиметр работает в режиме вольтметра). Приведите максимальные и минимальные значения сил токов и напряжений, которые вам удалось достичь², укажите, при каком расположении резисторов они достигаются. Сравните полученные значения с рассчитанными теоретически.

2.4 Соберите схему, показанную на рис. 3, т.е. замените сопротивления R_3, R_4 на два плеча реостата. Используйте следующие резисторы $R_1 = r_1, R_2 = r_2$ Измерьте зависимости силы тока I_0 через мультиметр (в режиме амперметра) и напряжения U_0 на мультиметре (в режиме вольтметра) от параметра $\eta = \frac{r_x}{r_0}$ (где r_x - сопротивление левого плеча реостата, r_0 - полное сопротивление реостата). Постройте графики полученных зависимостей. 2.5 Получите теоретически



формулы (с численными значениями параметров), описывающие полученные в п. 2.4 зависимости. Постройте графики теоретических зависимостей (на том же бланке). Объясните причины возможных расхождений между теоретическими и экспериментальными зависимостями.

Не стремитесь измерять параметр η с помощью линейки, измеряйте его с помощью вольтметра. Для этого рекомендуем использовать следующую последовательность измерений: установите движок реостата, измерьте напряжения на его левом U_x и правом U_{r-x} плечах, измерьте напряжение U_0 , переключите мультиметр в режим амперметра и измерьте значение силы тока I_0 . После чего, измените положение движка реостата.

— ¹ Вам ее выводить не надо – не оценивается! ² Только они будут оцениваться!

3

Решение

Задание 11- 1. Мостовые схемы.

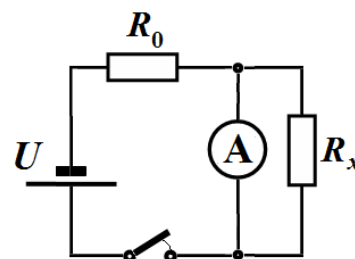
Часть 1. Подготовительная.

1.1 Результаты измерений сопротивлений приведены в таблице 1.

Таблица 1.

	Обозначение	Указанное сопротивление	Измеренное сопротивление
1	r_1	1 кОм	1,19 кОм
2	r_2	2 кОм	1,50 кОм
3	r_3	100 кОм	
4	r_4	200 кОм	
5	r_0 (реостат)	6 Ом	

1.2. для измерения сопротивления мультиметра в режиме измерения силы тока можно использовать схему с шунтирующим резистором R_x (рис. 1). Сопротивление этого резистора должно быть сравнимо с сопротивлением амперметра, поэтому в этой роли должен выступать реостат. Сопротивление реостата можно изменять, при этом с помощью мультиметра, переключенного в режим омметра легко измерить установленное значение (при этом цепь следует отключить от источника).



Так же необходимо включить в цепь дополнительный резистор R_0 , сопротивление которого должно быть таким, чтобы ток в цепи попадал в требуемый диапазон измерения силы тока. Разумно использовать² в этом качестве резистор r_1 .

Так как сопротивление амперметра, шунта и внутреннее сопротивление источника значительно меньше сопротивления резистора R_0 , то сила тока через амперметр (непосредственно измеряемая) определяется по формуле

$$I_A = \frac{U_0}{R_0} \frac{R_x}{R_x + R_A}. \quad (1)$$

Из этой формулы следует, что зависимость силы тока I_A от шунтирующего сопротивления R_x приводится к линейному виду, если ее «перевернуть»:

$$\frac{1}{I_A} = \frac{R_0}{U_0} \left(1 + \frac{R_A}{R_x} \right). \quad (2)$$

Таким образом, зависимость $I_A^{-1}(R_x^{-1})$ является линейной и параметры этой линейной зависимости (которые могут быть рассчитаны по методу наименьших квадратов) Позволяют определить искомое значение сопротивления амперметра. Действительно, параметры линейной зависимости $\frac{1}{I_A} = a \frac{1}{R_x} + b$ определяются выражениями

² Еще более разумно использовать резистор с меньшим сопротивлением, для чего можно соединить параллельно резисторы r_1 и r_2 .

$a = \frac{R_0}{U_0} R_A$, $b = \frac{R_0}{U_0}$, поэтому требуемое значение сопротивления амперметра рассчитывается как отношение этих коэффициентов $R_A = \frac{a}{b}$.

Результаты измерений зависимости силы тока через амперметр от сопротивления шунта приведены в Таблице 2 и на графике (рис. 2) для диапазона измерений 200 мА, и в Таблице 3 и на графике (рис. 3) для диапазона 20 мА.

Таблица 2 Диапазон измерения 200 мА.

R_x , Ом	I_A , мА	R_x^{-1}	I_A^{-1}
5,3	3,2	0,189	0,313
4,1	3,0	0,244	0,333
3,0	2,8	0,333	0,357
2,5	2,6	0,400	0,385
2,0	2,4	0,500	0,417
1,6	2,2	0,625	0,455
1,4	2,0	0,714	0,500
1,2	1,8	0,833	0,556
0,8	1,5	1,250	0,667

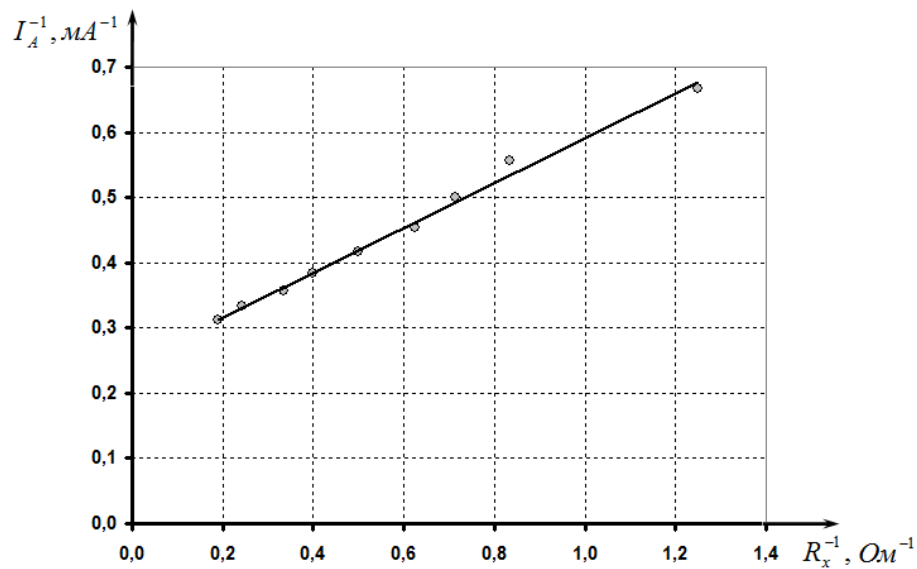
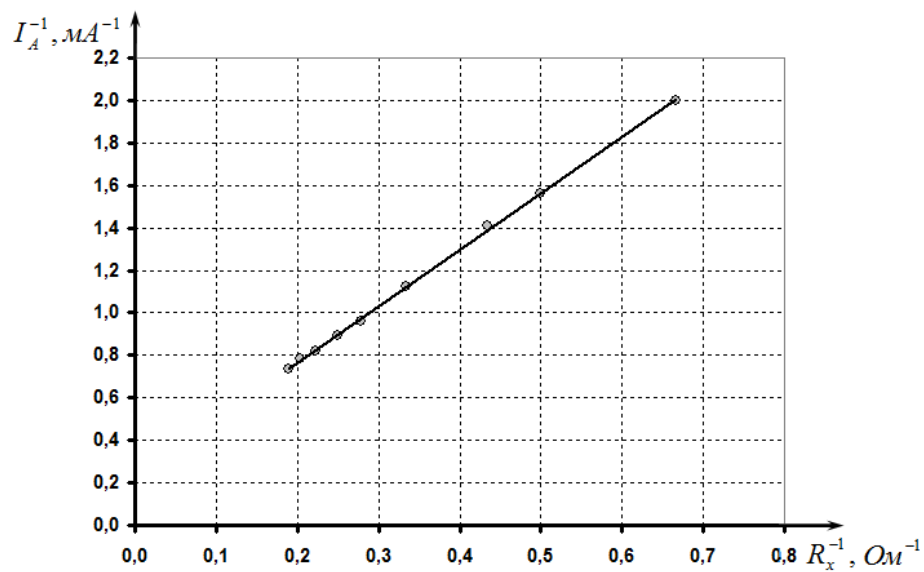


Таблица 3. Диапазон 20 мА

R_x , Ом	I_A , мА	R_x^{-1}	I_A^{-1}
5,3	1,4	0,189	0,735
4,9	1,3	0,204	0,781
4,5	1,2	0,222	0,820
4,0	1,1	0,250	0,893
3,6	1,0	0,278	0,962
3,0	0,9	0,333	1,124
2,3	0,7	0,435	1,408
2,0	0,6	0,500	1,563
1,5	0,5	0,667	2,000

Расчет сопротивлений по этим данным приводит к следующим значениям сопротивлений

амперметра: $R_A = 1,4$ Ом в диапазоне 200 мА; $R_A = 11,6$ Ом в диапазоне 20 мА;

1.3. Для измерения сопротивления мультиметра в режиме измерения напряжения следует использовать схему с дополнительным резистором, подключенным последовательно к вольтметру (рис. 5). В этом случае показания вольтметра могут быть рассчитаны по формуле

$$U_V = U_0 \frac{R_V}{R_V + R_x}.$$

Эта формула также допускает аналогичную линеаризацию

$$\frac{1}{U_V} = \frac{1}{U_0} \left(1 + \frac{R_x}{R_V} \right) \quad (4)$$

То есть зависимость $\frac{1}{U_V}$ от R_x является линейной

$$\frac{1}{U_V} = aR_x + b, \quad (5)$$

где $a = \frac{1}{U_0 R_V}$, $b = \frac{1}{U_0}$. Поэтому значение сопротивления вольтметра может быть рассчитано по формуле $R_V = \frac{b}{a}$.

Для проведения измерений необходимо использовать в качестве добавочного резистора большие сопротивления, в качестве которых следует использовать резисторы r_3 и r_4 : по отдельности, соединенные параллельно и соединенные последовательно (таким образом возможно 4 варианта).

Отметим также, что для измерения сопротивления в диапазоне 2000 мВ в схему следует включить делитель напряжения, в качестве которого следует использовать реостат, включенный по схеме потенциометра.

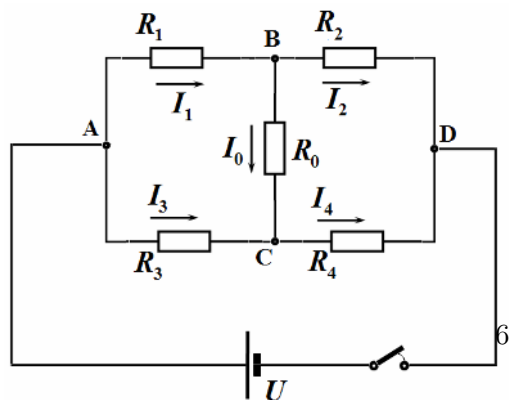
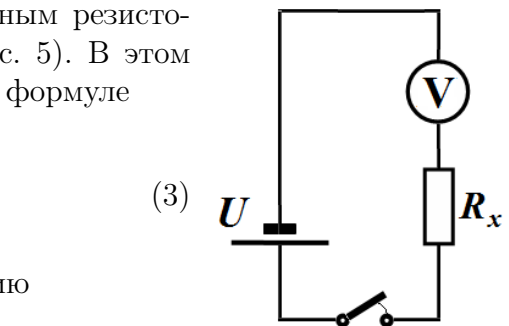
Измерения и обработка проводятся аналогично, описанному ранее. В результате измерений получены следующие значения сопротивлений вольтметра

$R_V = 1,4$ кОм в диапазоне 2000 мВ;

$R_V = 11,6$ кОм в диапазоне 20 В.

Часть 2. Мостовая схема.

2.1 - 2.2 Для расчета напряжения на мультиметре в режиме вольтметра можно пренебречь силой тока I_0 , протекающего через него. В этом случае измеряемое напряжение может быть найдено как разность потенциалов точек В и С:



$$\varphi_B = \varphi_A - I_1 R_1 = \varphi_A - \frac{U}{R_1 + R_2} R_1$$

$$\varphi_B = \varphi_A - I_3 R_3 = \varphi_A - \frac{U}{R_3 + R_4} R_3$$

Откуда следует:

$$U_0 = \varphi_B - \varphi_C = U \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (6)$$

При расчете показаний амперметра можно пренебречь его сопротивлением. В этом случае схема преобразуется к легко рассчитываемой схеме с двумя парами параллельно соединенных резисторов. Расчет силы тока в этом случае может быть проверен следующим образом:

Общая сила тока в цепи:

$$I = \frac{U}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}} \quad (7)$$

Силы токов в верхней ветви моста

$$I_1 = I \frac{R_3}{R_1 + R_3}, \quad I_2 = I \frac{R_4}{R_2 + R_4} \quad (8)$$

Сила тока через амперметр³:

$$I_0 = I_1 - I_2 = U \frac{\frac{R_3}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4}}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}} \quad (9)$$

2.3 Рассматривая протекание токов в мостовой схеме, можно заключить, что максимальные напряжение и сила токов будут достигаться в максимально разбалансированной цепи, когда (один из возможных вариантов с точностью до перестановки)

$$R_1 = r_1; \quad R_2 = r_3; \quad R_3 = r_4; \quad R_4 = r_2 \quad (10)$$

В этом случае теоретическое значение силы тока через амперметр равно

$$I_{0 \max} = \frac{U}{r_1 + r_2}; \quad U_{0 \max} = U. \quad (11)$$

Минимальные значения силы тока и напряжения при максимальной балансировке моста, т.е. при⁴

$$R_1 = r_1; \quad R_2 = r_2; \quad R_3 = r_3; \quad R_4 = r_4 \quad (12)$$

2.4 Результаты требуемых измерений приведены в Таблице 4. Ниже приведены графики полученных зависимостей. Параметр рассчитан по формуле

$$\eta_x = \frac{U_x}{U_x + U_{r-x}} \quad (13)$$

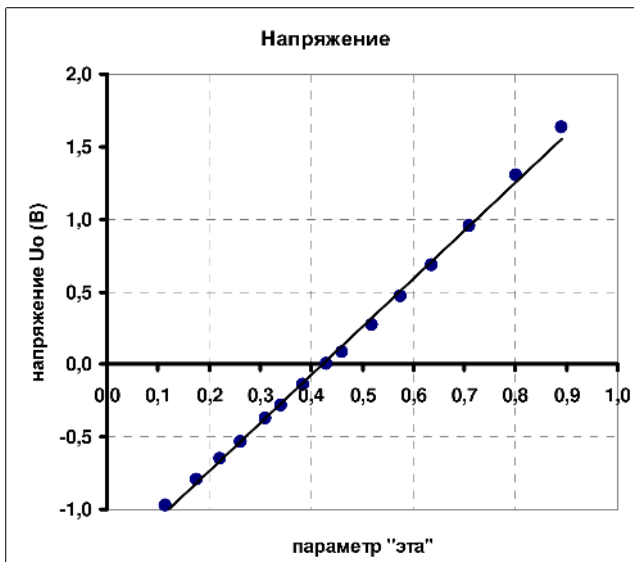
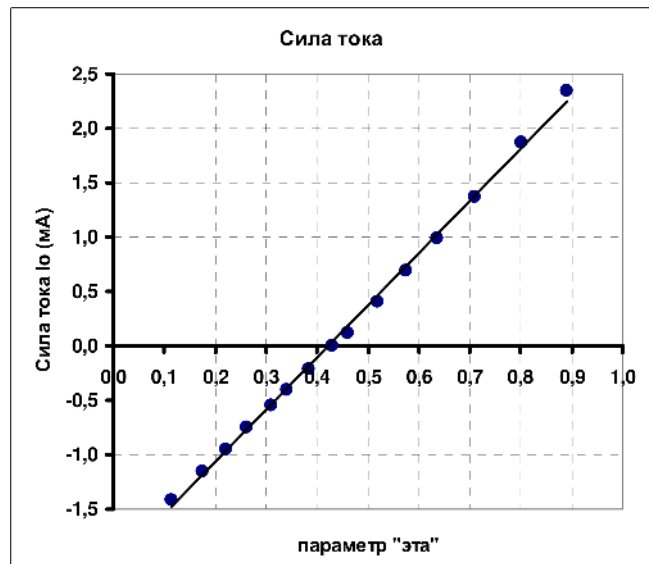
Таблица 4.

U_x, B	U_{r-x}, B	U_0, B	I_0, mA	η_x
0,39	3,16	1,63	2,35	0,89
0,69	2,78	1,30	1,87	0,80
0,98	2,41	0,95	1,37	0,71
1,21	2,12	0,68	0,99	0,64
1,40	1,90	0,47	0,69	0,58
1,57	1,69	0,27	0,40	0,52
1,74	1,48	0,08	0,12	0,46
1,82	1,37	0,00	0,00	0,43
1,96	1,22	-0,14	-0,21	0,38
2,09	1,08	-0,28	-0,41	0,34
2,18	0,98	-0,37	-0,55	0,31
2,31	0,82	-0,53	-0,75	0,26
2,44	0,69	-0,65	-0,95	0,22
2,57	0,55	-0,79	-1,15	0,18
2,75	0,36	-0,97	-1,42	0,12

³ Отметим, что формула эквивалентна формуле, приведенной в условии при $R_0 = 0$

⁴ Возможен также вариант (в зависимости от выданных резисторов)

$$R_1 = r_1; \quad R_2 = r_3; \quad R_3 = r_2; \quad R_4 = r_4$$



Теоретически данные зависимости описываются формулами (которые получены, с учетом того, что сопротивление реостата мало)

$$U_0 = U(\eta - \eta_1)$$

$$I_0 = U \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} (\eta - \eta_1) \quad (14)$$

Которые достаточно точно описывают приведенные экспериментальные зависимости.

¹ Вам ее выводить не надо – не оценивается! ² Только они будут оцениваться!

² Еще более разумно использовать резистор с меньшим сопротивлением, для чего можно соединить параллельно резисторы r и r .