

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени С.П.Королева

МОСТОВЫЕ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Лабораторная работа № I

Куйбышев 1980

В работе исследуются чувствительность, линейность мостовых схем с резисторными датчиками, рассматриваются двух- и трехпроводные схемы включения термометров сопротивления в мостовые схемы, погрешности преобразования температуры в напряжения.

Составитель Н.Н. В а с и н

Утверждена на редакционно-издательском
совете института 9.01.80 г.

Ц е л ь р а б о т ы : изучение свойств мостовой измерительной схемы, определение ее погрешности, исследование мостовой измерительной цепи с моделью проволочного термометра сопротивления.

1. Т е о р е т и ч е с к и е о с н о в ы л а б о р а т о р н о й р а б о т ы

В подсистемах сбора информации в качестве измерительных схем используются неравновесные мосты. В частности, мостовые схемы используются при измерении температуры с помощью проволочных термометров сопротивления (ТС).

Действие ТС основано на изменении сопротивления проводников в зависимости от температуры. Материалы термометров должны иметь большой и постоянный температурный коэффициент сопротивления, большое удельное сопротивление, их физические и химические свойства должны быть устойчивы во всем диапазоне измеряемых температур. Основными материалами для проволочных термометров являются чистые металлы: медь, платина.

В лабораторной работе изучается платиновый ТС.

Зависимость сопротивления платинового ТС от температуры - нелинейна. При изменении температуры от -200°C до 0°C

$$R_T = R_0 \left[1 + at + bt^2 + c(t-100)t^3 \right]. \quad (1)$$

При изменении температуры от 0°C до 650°C

$$R_T = R_0 (1 + at + bt^2). \quad (2)$$

где

$$a = 3,96847 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град},$$

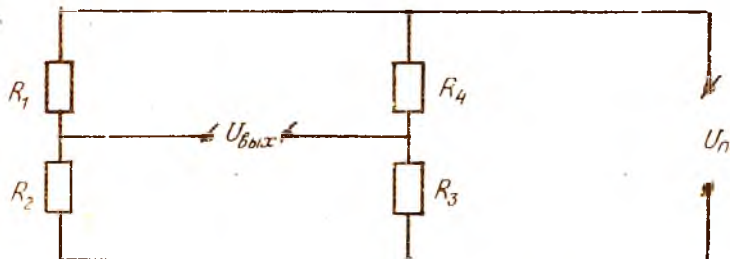
$$b = -5,841 \cdot 10^{-7} \text{ 1/град}^2;$$

$$c = -4,22 \cdot 10^{-12} \text{ 1/град}^3, [1];$$

R_0 - сопротивление при 0°C .

Мостовая схема состоит из четырех сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 (рис. 1), причем одно из них, например, R_2 является

датчиком, а R_1, R_3, R_4 - образцовые стабильные резисторы. В одну из диагоналей моста включается источник питания постоянного или переменного напряжения, с другой диагонали снимается выходное напряжение.



Р и с. 1.

Поскольку в подсистемах сбора информации выходное напряжение мостовой схемы подается на усилитель с высоким входным сопротивлением $R_{вх}$, то $R_{вх}$ можно не учитывать при расчете выходного напряжения. При этом

$$U_{вых} = U_n \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (3)$$

Если подобрать сопротивление моста равным сопротивлению ТС на нижней границе температурного диапазона, т.е. $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$, то мост окажется в равновесном состоянии и $U_{вых} = 0$.

При изменении преобразуемой температуры происходит изменение в соответствии с формулой (1) или (2): $R_2 = R_{TC} = R + \Delta R_T$, а

$$U_{вых} = U_n \frac{\Delta R_T}{R} \frac{1}{4 + 2 \Delta R_T / R} \quad (4)$$

при $\Delta R_T / R \ll 1$,

$$U_{вых} \approx \frac{1}{4} U_n \frac{\Delta R_T}{R} \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что выходное напряжение моста определяется температурными изменениями ΔR_T и напряжением питания.

Возможности получения высокого $U_{вых}$ путем увеличения U_n ограничены максимальной мощностью на ТС. Превышение мощности приводит к увеличению температуры ТС и связанной с ней погрешностями преобразования.

Допустимое напряжение питания моста

$$U < 2\sqrt{P_{\text{доп}} R}, \quad (6)$$

где P - допустимая мощность рассеяния (10 мВт);

R - сопротивление ТС на нижней границе температурного диапазона.

Допустимый ток через ТС $i_{\text{доп}} < 2\sqrt{P_{\text{доп}}/R}$. Относительная чувствительность мостовой измерительной цепи с ТС при $\Delta R_T/R < 1$

$$S_M = \frac{U_{\text{вых}}/U_n}{\Delta R_T/R} = \frac{1}{4}. \quad (7)$$

2. Описание установки

Лабораторная установка (рис. 2) содержит: четыре магазина сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 , стабилизированный источник питания U_n , цифровой вольтметр (ЦВ) для контроля выходного напряжения источника питания и выходного напряжения моста, конденсатор C , сглаживающий пульсации выходного напряжения, термометр сопротивления $K_D = 100 \text{ Ом}$.

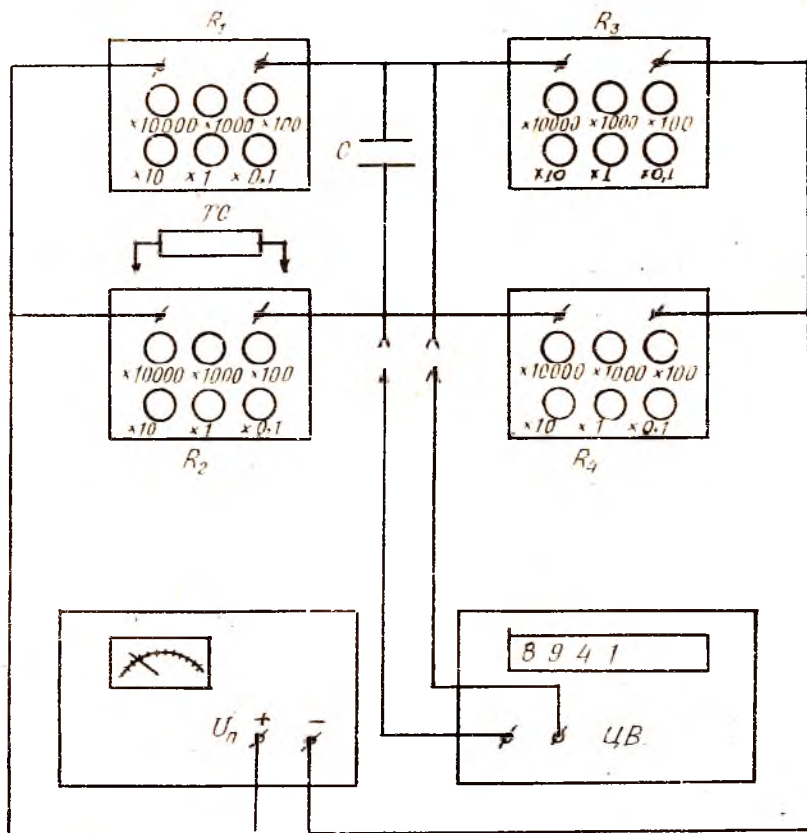
3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Выбрать зависимость сопротивления платинового ТС от температуры (табл. I). Диапазон изменения преобразуемой температуры задается преподавателем.

Т а б л и ц а I

$T^{\circ}\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ТС	100	103,96	107,91	111,85	115,78	119,65	123,60	127,49	132,51	135,25

$T^{\circ}\text{C}$	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600
ТС	139,10	158,22	177,05	195,58	213,83	231,79	249,46	266,83	282,92	317,22



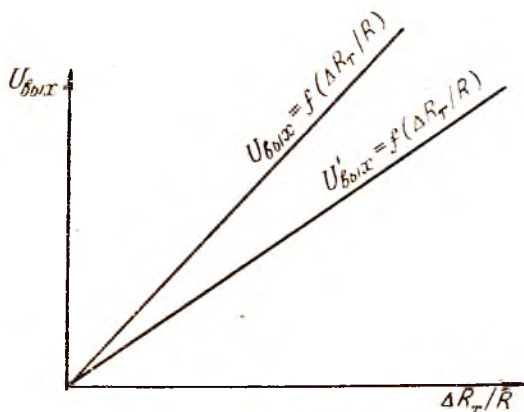
Р и с. 2.

2. По выражению (6) произвести расчет допустимого напряжения питания моста для сопротивления ТС, соответствующего нижней границе диапазона температур. Собрать схему моста на четырех магазинах сопротивлений (рис.2). Установить $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R = 100 \text{ Ом}$ и включить источник питания. Установить допустимое напряжение.

3. Ознакомиться с инструкцией по работе с цифровым вольтметром. Сбалансировать мост, добиваясь, чтобы $U_{\text{вых}} = 0$ с помощью одного из магазинов сопротивлений (R_1 , R_3 или R_4). Изменяя сопротивление R_2 в пределах заданных преподавателем снять характеристику моста $U_{\text{вых}} = f(\Delta R_T / R)$ в 8-10 точках диапазона.

4. Оценить погрешность нелинейности мостовой схемы при максимальном значении $\Delta R_T / R$.

Линейная связь $U_{\text{вых}}$ и ΔR_T имеет место только в случае $\Delta R_T / R \ll 1$ (рис. 3).



Р и с. 3.

В широком диапазоне температур функция $U_{\text{вых}} = f(\Delta R_T)$ может существенно отличаться от линейной.

Погрешность нелинейности можно оценить:

$$\sigma_n = \frac{U_{\text{вых}} - U'_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}} 100\% = \left(1 - \frac{U'_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}}\right) 100\%, \quad (8)$$

где $U_{\text{вых}}$ - определяется по формуле (5);

$U'_{\text{вых}}$ - определяется по формуле (4).

Подставляя в формулу (8) выражения (4), (5) получим:

$$\sigma_n = \frac{\Delta R_T / R}{2 + \Delta R_T / R} 100\%. \quad (9)$$

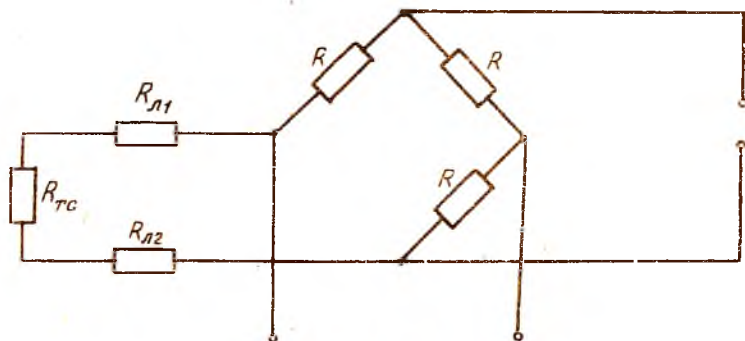
Из выражения (9) следует, что σ_n зависит от диапазона температур и от величины R . Возможно снижение σ_n за счет увеличения R путем включения добавочных сопротивлений в плечи моста R_1, R_2 и R_3, R_4 .

Компенсировать уменьшение $U_{\text{вых}}$ при этом можно, увеличив напряжение питания U_n , но с таким расчетом, чтобы ток через ТС не превышал допустимый $i_{\text{доп}}$.

Задаваясь погрешностью нелинейностью $\sigma_H = 1,0\%$, рассчитать необходимое сопротивление $R_{доп}$. Увеличить напряжение питания моста до $U_H = 10$ В, снять характеристику $U_{вых} = f(\Delta R_T)$. Убедиться в улучшении линейности характеристики.

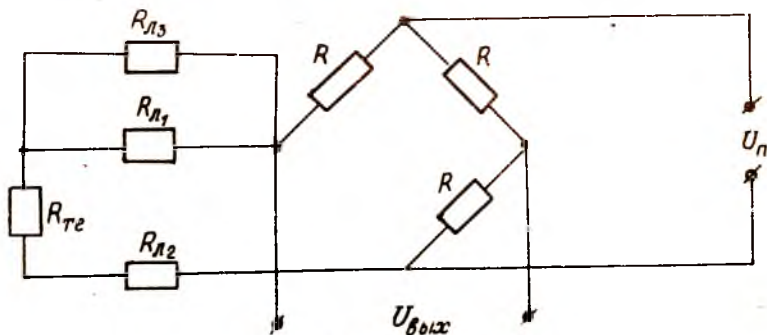
5. Установить нуль моста и включить вместо магазина R , платиновый термометр сопротивления. Пользуясь экспериментальной градуировочной характеристикой $U_{вых} = f(\Delta R_T / R)$, определить температуру окружающей среды.

6. Произвести экспериментальную оценку погрешностей, вносимых двух- и трехпроводной линией связи (рис. 4, 5).



Р и с. 4.

Преобразование температуры объектов, удаленных от систем сбора информации, связано с погрешностями, вносимыми соединительными линиями. Эти погрешности вызваны изменениями сопротивлений линий связи при изменениях температуры окружающей среды:



Р и с. 5.

$$\Delta R_L = R_{L_0} \alpha_{t_M} (t_2 - t_1), \quad (10)$$

где R_{L_0} - сопротивление линии при температуре;

$t_2 - t_1$ - диапазон изменений температуры окружающей среды;

α_{t_M} - температурный коэффициент меди,

$$(\alpha_{t_M} = 4,25 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}).$$

Тогда с учетом формулы (5) для двухпроводной линии

$$U_{\text{во/х}} = \frac{1}{4} U_n \frac{\Delta R_L + 2 \Delta R_L}{R}.$$

Относительная погрешность $\delta_n = \frac{2 \Delta R_L}{\Delta R_T} 100\%$ может оказаться весьма существенной. Чтобы уменьшить эту погрешность, применяется трехпроводная линия связи (рис. 5). Провода R_{L_1} и R_{L_2} включаются в соседние плечи моста, а третий провод R_{L_3} - последовательно с большим входным сопротивлением цифрового вольтметра ($R_{\text{вх}} \rightarrow \infty$).

При этом

$$U_{\text{во/х}} = U_n \frac{\Delta R_T / R}{4 + 4 \Delta R_L / R + 2 \Delta R_T / R}. \quad (11)$$

При $\Delta R_L \ll R$ $U_{\text{во/х}}$ не зависит от ΔR_L . Однако в реальных условиях полностью избавиться от влияния ΔR_L не удастся.

$$\delta_n = \frac{U_{\text{во/х}_1} - U_{\text{во/х}_2}}{U_{\text{во/х}_1}} 100\%. \quad (12)$$

Здесь $U_{\text{во/х}_1}$ - выходное напряжение моста, определяемое формулой (11) при температуре среды t_1 ($\Delta R_L = 0$);

$U_{\text{во/х}_2}$ - то же при t_2 ($\Delta R_L \neq 0$).

После преобразований выражения (12) с учетом (11) получим:

$$\delta_n = \frac{\Delta R_L / R}{1 + \Delta R_L / R + \frac{1}{2} \Delta R_T / R} = \frac{\Delta R_L / \Delta R_T}{R / \Delta R_T + \Delta R_L / \Delta R_T + \frac{1}{2}}. \quad (13)$$

По заданию преподавателя рассчитать изменения сопротивления линии при изменении температуры окружающей среды по выражению (10). В схеме моста (см. рис. 2) в плече R_2 установить значение R_2 , соответствующее началу диапазона термометра и добавить сопротивление двухпроводной линии $2R_L$, соответствующее исходной температуре окружающей среды. Произвести балансировку моста и изменить R_2 на ΔR_T в четырех точках заданного диапазона преобразуемых температур (табл. 2).

N/N	$\Delta R_T / R$	$U_{\delta_{0,2}}$	2 ^x проводная			3 ^x проводная		
			$U'_{\delta_{0,2}}$	σ'_L	$\sigma'_{\text{погр.}}$	$U'_{\delta_{0,2}}$	σ'_L	$\sigma'_{\text{погр.}}$

Определить $U_{\delta_{0,2}}$ и изменить R_2 на $2\Delta R_L$. Найти $U'_{\delta_{0,2}}$ и погрешность

$$\sigma'_L = \frac{U_{\delta_{0,2}} - U'_{\delta_{0,2}}}{U_{\delta_{0,2}}} 100\%$$

Занести σ'_L в табл. 2. В эту же таблицу внести результаты теоретических расчетов погрешности σ' и произвести сопоставление с экспериментальными данными.

В схеме моста (см. рис. 5) для случая трехпроводной линии добавить сопротивление R_{L1} , R_{L2} в плечи R_1 и R_2 . Сопротивление R_{L3} , включенное последовательно с большим входным сопротивлением цифрового вольтметра, влияния не оказывает. Поэтому в эксперименте третья линия не моделируется.

Балансировка моста, установка ΔR_T , ΔR_L , нахождение $U_{\delta_{0,2}}$, $U'_{\delta_{0,2}}$ и σ'_L производится аналогично случаю двухпроводной линии (см. табл. 2).

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- схемы мостовых измерительных цепей;
- графики температурной характеристики ТС $R = f(t^\circ\text{C})$;
- характеристики моста $U_{\delta_{0,2}} = f(\Delta R_T / R)$ с добавочным сопротивлением и без него;
- таблицы с результатами экспериментов и расчетов.

Контрольные вопросы к собеседованию

1. Нарисуйте схему неравновесного моста. Напишите уравнение преобразования и представьте его графически.
2. Чему равна относительная чувствительность моста с ТС?

3. Как найти погрешность нелинейности моста? Как уменьшить эту погрешность?
4. Какую погрешность вносит двухпроводная линия связи? Как уменьшить эту погрешность?
5. Погрешности, вносимые трехпроводной линией. Сравнительная оценка погрешностей двух- и трехпроводной линий связи.

Л и т е р а т у р а

1. А г е й к и н Д.И. и др. Датчики контроля и регулирования. М.: "Машиностроение", 1967.
2. Т у р - и ч и н А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. М.Л.: "Энергия", 1966.

Составитель: Николай Никслаевич В а с и н

МОСТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Лабораторная работа № I

Редактор Н.В. К а с а т к и н а
Техн. редактор Н.М. К а л е н ю к
Корректор С.С. Р у б а н

Подписано в печать 13.05.80 г. Формат 60x84^I/16
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Усл.п.л. 0,70. Уч.-изд.л. 0,6. Тираж 500 экз.
бесплатно. Заказ № 3382

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
Авиационный институт имени С.П.Королева, г.Куйбышев,
ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография им. в.п.Мяги, г.Куйбышев,
п. Венцека, 60.