

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

А.И. Солдатов

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ

Методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Измерительные преобразователи в робототехнических комплексах» для студентов направлений
15.04.06 Мехатроника и робототехника.

Томск 2023

УДК 372.862

ББК 30

С 60

Рецензент:

Костина М.А., доцент каф. управления инновациями ТУСУР,
канд. техн. наук

Солдатов, Алексей Иванович

С 60 Измерительный мост: метод. указания по выполнению студентами лабораторных работ/ А.И.Солдатов. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 25 с.

Методические указания по выполнению студентами лабораторной работы «Измерительный мост» разработаны для студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника.

Одобрено на заседании научно-методической комиссии ФИТ, протокол № 5 от 28.12.2022 г.

УДК 372.862

ББК 30

© Солдатов А.И., 2023

© Томск.гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023

Оглавление

Краткие теоретические сведения.....	4
Описание лабораторного стенда.....	20
Предварительное задание.....	23
Программа работы	24
Содержание отчета.....	24
Контрольные вопросы	25
Источники информации	25

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ

Цель работы: Изучение измерительного моста.

Задачи: Изучить различные схемы мостовых измерений. Изучить характеристику моста Уитстона. Определить чувствительность и разрешающую способность моста Уитстона. Определить погрешность моста Уитстона.

Краткие теоретические сведения

Электрическое соединение элементов схемы в виде квадрата называется мостовой схемой. Наиболее распространенным примером мостовой схемы является соединение четырех выпрямительных диодов друг с другом. Такая схема получила название выпрямительный мост. Еще одно применение мостовой схемы — это измерительный мост. В одну диагональ измерительного моста включается источник питания, в другую - измерительный прибор. Впервые мостовую схему предложил в 1833 году Самуэль Хантер Кристи (англ. Samuel Hunter Christie). В 1843 году схема была модернизирована Чарльзом Уитстоном и с тех пор носит его имя: мост Уитстона [1]. Принципиальная электрическая схема измерительного моста Уитстона представлена на рис.1. Основу мостовой схемы составляют четыре резистора, включенные последовательно друг за другом. Кроме того, начало первого резистора соединено с концом четвертого, образуя тем самым замкнутую цепь в виде квадрата. В одну диагональ, получившегося квадрата подключают источник питания, а в другую диагональ измерительный прибор. Основное назначение моста Уитстона - измерение сопротивления. Мост Уитстона является одинарным мостом. Кроме одинарного моста, существует двойной измерительный мост, который называется мостом Томсона.

При равенстве сопротивлений на противоположных сторонах моста ток, в измерительной диагонали моста, равен нулю. Ток в измерительной

диагонали моста будет равен нулю и при равенстве отношений полных сопротивлений в противоположащих плечах моста. Это является условием балансировки моста.

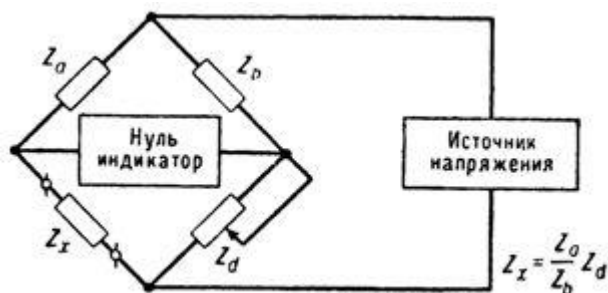


Рис. 1. Принципиальная схема моста Уитстона

Если в схеме измерительного моста используются только активные сопротивления, то питание моста может осуществляться источниками напряжения как постоянного, так и переменного тока. Если в схеме измерительного моста используются не только активные, но и реактивные сопротивления, то питание моста может осуществляться источниками напряжения только переменного тока. Балансировка мостовой схемы не зависит от типа источника питания, величины его напряжения и от изменения питающего напряжения.

Неэлектрические величины также можно измерять с помощью мостовой схемы. При помощи датчиков измеряемая величина преобразуется в некоторый параметр электрической цепи (ток или напряжение), имеющий корреляционную связь с измеряемой величиной. По классификации мостовые схемы относятся к приборам сравнения. При измерении неизвестного сопротивления путем изменения известного сопротивления мостовая схема балансируется. При этом ток через измерительный прибор равен нулю.

Для расчета равновесия моста можно воспользоваться законами Кирхгофа. На рис.2 показаны токи в мостовой схеме и обозначены узлы схемы, которых четыре: А, В, С, D. Сопротивления проводников, используемых для подключения источника питания и измерительного индикатора не учитываем.

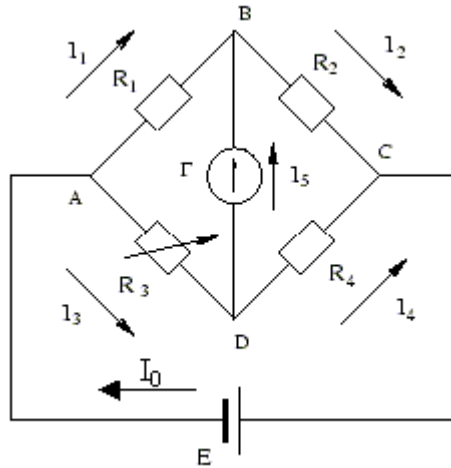


Рис. 2. Схема одинарного моста постоянного тока.

Примем токи, втекающие в узел, положительными, а вытекающие – отрицательными.

По первому закону Кирхгофа сумма токов, втекающих в узел равна нулю. Исходя из этого составим уравнения для каждого узла. В схеме имеется четыре узла A, B, C и D. Поэтому можно составить четыре уравнения. Получившаяся система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} I_0 - I_1 - I_3 = 0 \text{ (для узла A)} \\ I_1 + I_5 - I_2 = 0 \text{ (для узла B)} \\ I_3 - I_5 - I_4 = 0 \text{ (для узла D)} \\ I_2 + I_4 - I_0 = 0 \text{ (для узла C)} \end{cases} \quad (1)$$

В системе уравнений (1) имеется шесть неизвестных величин: $I_0, I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$. Такая система не имеет решения, поэтому нужно еще как минимум два уравнения. Воспользуемся вторым законом Кирхгофа и составим уравнения для каждого контура мостовой схемы. В мостовой схеме имеется три замкнутых контура: ABDA, BCDB, ADCEA, поэтому можно составить еще три уравнения. Полученная система уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} I_1 R_1 - I_5 R_G - I_3 R_3 = 0 \text{ (для контура ABDA)} \\ I_2 R_2 + I_5 R_G - I_4 R_4 = 0 \text{ (для контура BCDB)} \\ I_3 R_3 - U + I_4 R_4 = 0 \text{ (для контура ADCEA)} \end{cases} \quad (2)$$

Результатом решения двух систем уравнений будет ток через гальванометр:

$$I_G = \frac{U(R_1 R_4 - R_2 R_3)}{R_G(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_2 R_4 (R_1 + R_4)} \quad (3)$$

Если числитель уравнения (1) равен нулю, то ток через гальванометр будет равен нулю. Это возможно при условии:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (4)$$

Равенство произведений сопротивлений противоположных плеч приводит к отсутствию тока через гальванометр. Это является условием балансировки моста. Преобразовав формулу (4), можно получить выражение для вычисления одного из сопротивлений моста, если известны три других сопротивления. Например, для расчета резистора R_1 формула будет иметь вид:

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4} \quad (5)$$

Так как отношение $\frac{R_3}{R_4}$ является постоянным, то его можно обозначить коэффициентом k . Тогда формула для расчета величины сопротивления R_1 примет вид:

$$R_1 = R_2 k \quad (6)$$

Анализируя выражение (6) можно заметить, что неизвестное сопротивление R_1 сравнивается с образцовым сопротивлением R_2 . По этой причине плечо R_2 называют ПЛЕЧОМ СРАВНЕНИЯ, плечи R_3 и R_4 - ПЛЕЧАМИ ОТНОШЕНИЯ.

При использовании источника питания переменного тока измерительный мост может измерять величину комплексного сопротивления. При этом кроме неизвестного комплексного сопротивления в остальных плечах моста должны использоваться также комплексные сопротивления. Функциональная схема моста Уитстона для измерения комплексного сопротивления с питанием от источника переменного тока представлена на рис. 1. В качестве измерительного устройства предпочтительно использовать электронный милливольтметр, который имеет очень большое входное сопротивление по сравнению с электромеханическими приборами. Кроме того, в качестве нуля индикатора возможно использовать электронно-лучевую трубку.

Условием балансировки измерительного моста при измерении комплексного сопротивления является выполнение равенства произведений комплексных сопротивлений:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad (3)$$

где Z_1, Z_4, Z_2, Z_3 - комплексные сопротивления плеч.

Комплексное сопротивление в алгебраической форме имеет вид:

$$Z = R + jX$$

где R – активная составляющая комплексного сопротивления, j – мнимая единица, X – реактивная составляющая комплексного сопротивления.

Показательная форма комплексного числа имеет вид:

$$z = Z e^{j\varphi}$$

где Z – модуль комплексного сопротивления, j – мнимая единица, φ – аргумент комплексного сопротивления.

Модуль комплексного сопротивления определяется из выражения:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Аргумент комплексного сопротивления равен:

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{X}{R}$$

Используя показательную форму комплексного сопротивления, запишем условие балансировки измерительного моста:

$$Z_1 e^{j\varphi_1} \times Z_4 e^{j\varphi_4} = Z_2 e^{j\varphi_2} \times Z_3 e^{j\varphi_3} . \quad (4)$$

Это условие выполняется при равенстве произведений двух модулей комплексных сопротивлений в противолежащих плечах измерительного моста и равенстве суммы двух аргументов комплексных сопротивлений в противолежащих плечах измерительного моста:

$$Z_1 \times Z_4 = Z_2 \times Z_3 \quad (5)$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3 \quad (6)$$

Балансировка измерительного моста наступает при одновременном выполнении выражений (5) и (6).

При использовании алгебраической формы представления комплексного сопротивления условие балансировки измерительного моста будет иметь вид:

$$(R_1 + jX_1)(R_4 + jX_4) = (R_2 + jX_2)(R_3 + jX_3) \quad (7)$$

Это условие выполняется при равенстве произведений двух активных составляющих комплексных сопротивлений в противолежащих плечах измерительного моста за вычетом произведений двух реактивных составляющих комплексных сопротивлений и равенстве произведений активной составляющей с реактивной составляющей из противоположного плеча за вычетом произведения активной составляющей из противоположного плеча с реактивной составляющей из этого же плеча:

$$R_1 R_4 - X_1 X_4 = R_2 R_3 - X_2 X_3 \quad (8)$$

$$R_1 X_4 - X_1 R_4 = R_2 X_3 - X_2 R_3 \quad (9)$$

При этом необходимо одновременное выполнение равенств (8) и (9).

Использование одной или другой формы представления комплексного сопротивления определяется удобством последующего расчета элементов измерительного моста. Одновременное выполнение двух условий для балансировки измерительного моста при измерении комплексного сопротивления требует наличия двух варьируемых элементов: одного активного, а другого реактивного. Для этих целей наиболее удобно использовать переменный резистор и переменный конденсатор. Катушки индуктивности с регулируемой индуктивностью используются не так широко. При практическом использовании мостовой схемы стремятся к наиболее быстрому способу балансировки моста, с наименьшими временными затратами. Число регулировочных операций, необходимых для балансировки моста, характеризует "сходимость" моста. Правильный выбор регулируемых элементов и их положения в плечах моста обеспечивает наилучшую сходимость, а следовательно, и наименьшее время измерений.

Дальнейшим совершенствованием мостовых измерительных схем стало появление двойных мостов или мостов Томсона, способных работать на постоянном и переменном токах (рис. 3 и рис.4). Условия равновесия этих

измерительных мостов, естественно, отличаются от условий равновесия моста Уитстона.

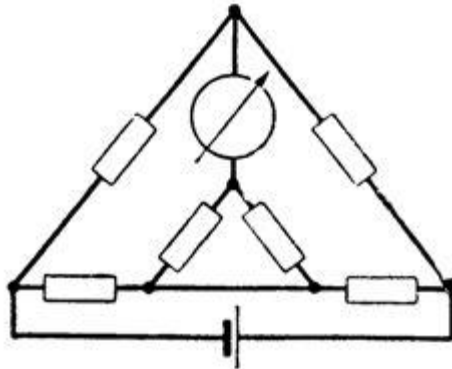


Рис. 3. Двойной мост на постоянном токе

Двойной измерительный мост (мост Томсона)

Для измерения низкоомных сопротивлений с высокой точностью применяют двойной измерительный мост, названный в честь изобретателя «мост Томсона. Принципиальная электрическая схема такого моста приведена на рис. 4. Главным преимуществом двойного моста Томсона по сравнению с мостом Уитстона заключается в возможности измерения резисторов с сопротивлением близким к сопротивлению соединительных проводов. Сопротивление измеряемого резистора определяют как отношение напряжения на резисторе R_x и резисторе R_H к току через эти резисторы. При равновесии моста сопротивление неизвестного резистора R_x определяется выражением:

$$R_x = R_H \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_4 R}{R + R_3 + R_4} \left(\frac{R_1}{R_2} - \frac{R_3}{R_4} \right) \quad (4.9)$$

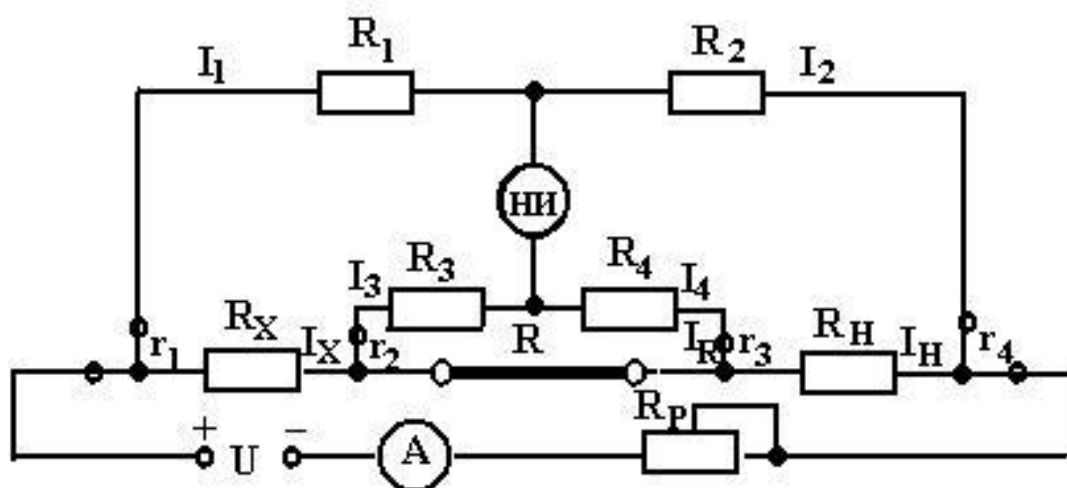


Рис.4. Двойной измерительный мост (мост Томсона)

Наиболее удобно с практической стороны выбрать значения R_1 , R_2 , R_3 и R_4 так, чтобы выполнялось условие:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (4.10)$$

Тогда при равновесии моста сопротивление R_x определится упрощенным выражением:

$$R_x = R_H \frac{R_1}{R_2} \quad (4.11)$$

А условие баланса моста будет иметь вид:

$$\frac{R_x}{R_H} = \frac{R_1}{R_2} \quad (4.12)$$

Для проверки выполнения условия баланса моста, он уравнивается, и убирается проводник R . При этом нуль индикатор в измерительной диагонали моста не должен изменить показания. Сопротивление R должно быть очень маленьким. Для этого его изготавливают из отрезка толстой медной шины очень короткой длины. Номиналы резисторов R_1 , R_2 , R_3 и R_4 выбираются небольшими, предпочтительно менее 10 Ом. В этом случае

величина сопротивлений контактных соединений r_1, r_2, r_3, r_4 и подводящих проводов практически не будет оказывать влияния на результат измерения и им можно пренебречь. При необходимости более глубокой компенсации сопротивлений контактных соединений и подводящих проводов может быть выполнено путем исключения резистора R при балансировке, а также уменьшением резисторов R_3 или R_4 путем параллельного присоединения резистора большего номинала.

В серийно выпускаемых измерительных мостах используются двоянные переменные резисторы для включения в противоположные плечи моста. При этом регулировка обоих резисторов (R_4 и R_2) или (R_1 и R_3) осуществляется одной ручкой. В этом случае происходит синхронное изменение сопротивлений R_4 и R_2 или R_1 и R_3 . Поэтому их отношение остается неизменными.

Мост Томсона позволяет проводить очень высокоточные измерения. Погрешность измерения не превышает 0,5% в диапазоне 10 мкОм ... 1 Ом. При измерении резисторов с двумя зажимами погрешность не превышает 0,02%.

Еще одной разновидностью мостовых измерительных схем стало появление многоплечих мостов (шести- или семиплечих), способных работать на переменном токе (рис.5).

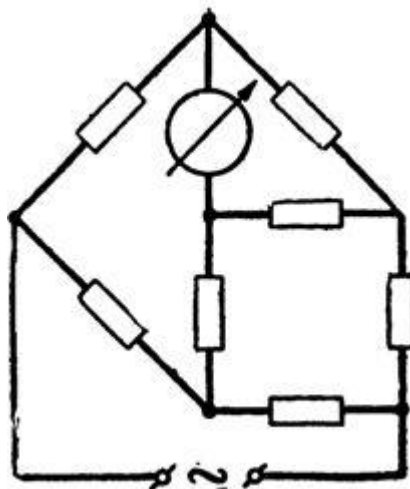


Рис. 5. Многоплечий измерительный мост

Измерительный мост способен работать в двух режимах уравновешенном и в неуравновешенном. В неуравновешенном режиме балансировка моста не предусмотрена, а результат измерения определяется по шкале измерительного прибора, включенного в измерительную диагональ моста. При этом шкала прибора сразу градуируется в значениях измеряемого сопротивления. При таком способе измерения сопротивления необходимо обеспечить высокую стабильность напряжения питания, так как ток гальванометра зависит от напряжения питания, что отражено в формуле (3), и его флуктуации приведут к флуктуациям результата измерения.

Для мостовых схем, работающих на переменном токе, возможны еще два режима квазиуравновешенный и полууравновешенный. Напомним, что переменный ток используется для измерения комплексных сопротивлений, при этом балансировка моста осуществляется изменением двух компонентов: активной составляющей и реактивной составляющей комплексного сопротивления. В квазиуравновешенном режиме изменяется только одна составляющая для получения минимального выходного сигнала. При этом полное равновесие недостижимо. Для его достижения необходима регулировка двух параметров. Момент достижения минимума выходного сигнала определяется по нуль индикатору в измерительной диагонали моста.

В полууравновешенном режиме активная часть измеряемого комплексного сопротивления определяется по значению изменяемого параметра в момент полуравновесия. Реактивная часть измеряемого комплексного сопротивления определяется по напряжению на выходе моста. Для прецизионных измерений напряжение питания должно быть стабильным.

Балансировка мостовых измерительных систем может выполняться человеком, такие мосты называются мосты с ручной балансировкой. Балансировка мостовых измерительных систем может выполняться также и автоматически, такие мосты называются автоматические измерительные мосты. Мостовые схемы позволяют измерять не только абсолютные значения сопротивлений, но и отклонения измеряемых сопротивлений от номинального

значения. Мостовые схемы являются самыми распространенными и самыми совершенными методами измерения. Промышленность выпускает мосты с классами точности от 0,01 до 5 на постоянном, токе и от 0,1 до 5 — на переменном.

Типы измерительных мостов

- 1) Мост Уитстона (предназначен для измерения сопротивлений в широком диапазоне значений);
- 2) Мост Томсона (предназначен для измерения сопротивлений с номиналом менее 10 Ом с высокой точностью);
- 3) Мост Де Соти (предназначен для измерения емкости с номиналом менее 100 пФ с высокой точностью);
- 4) Мост Шеринга (предназначен для измерения емкости в широком диапазоне значений);
- 5) Мост Кэри Фостера (предназначен для измерения сопротивлений с номиналом менее 0,1 Ом с высокой точностью);
- 6) Мост Вина (предназначен для измерения емкости в широком диапазоне значений);
- 7) Мост Кэмпбелла (предназначен для измерения емкости и индуктивности в широком диапазоне значений);
- 8) Мост Максвелла (предназначен для прецизионных измерений емкости и индуктивности в широком диапазоне значений);
- 9) Мост Оуэна (предназначен для измерения индуктивности в широком диапазоне значений);
- 10) Мост Андерсона (предназначен для прецизионного измерения индуктивности).

Номенклатура серийно выпускаемых мостов достаточно широка. Некоторые типовые приборы представлены на рис.6 - 11.

Измерительный мост постоянного тока МЕГЕОН 05500 предназначен для измерения сопротивления в широком диапазоне. Внешний вид прибора

показан на рис.6. Основные технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица.1. Основные технические характеристики измерительного моста МEGEON 05500

№	Параметр	Значение
1	Диапазон измерений	1 Ом ... 9,999 Мом
2	Среднее значение начального сопротивления магазина	0,02 Ом
3	Время установления показаний гальванометра	не более 4 с
4	Вес	2,2 кг



Рис.6. Измерительный мост постоянного тока МEGEON 05500

Магазин сопротивлений МСР ВХR-06 предназначен для измерения сопротивления в широком диапазоне. Внешний вид прибора показан на рис.7. Основные технические характеристики приведены в таблице 2.

Таблица.2. Основные технические характеристики магазина сопротивлений МСР ВХR-06

№	Параметр	Значение
1	Диапазон измерений	0...1111110 Ом
2	Погрешность	1%
3	Габариты	170x240x90
4	Вес	0,8 кг



Рис.7. Магазин сопротивлений MCP BXR-06

Для измерения индуктивностей используют магазин индуктивностей. На рис.8 показан серийно выпускаемый магазин индуктивности МЕГЕОН 05100



Рис.8. Магазин индуктивности МЕГЕОН 05100

Основные технические характеристики приведены в таблице 3.

Таблица.3. Основные технические характеристики магазина индуктивностей МЕГЕОН 05100

№	Параметр	Значение
1	Диапазон измерений	1μН ~ 100 μН 100mμН ~ 1Н
2	Потребляемый ток	40mA - 300mA
3	Габариты, мм	170x440x90
4	Вес	1,2 кг

Для измерения емкости конденсаторов используется мостовая схема, реализованная в приборе **МЕГЕОН 05200** (рис.9).



Рис.9. Магазин емкостей МЕГЕОН 05200

Основные технические характеристики магазина емкостей МЕГЕОН 05200 приведены в таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики магазина емкостей МЕГЕОН 05200

№	Параметр	Величина
1	Диапазон измерения, нФ	0,1-1 1...10 10 – 100 100- 1000
2	Напряжение питания, В	300VDC/230VAC (50Hz)
3	Габаритные размеры (мм)	170x240x90
4		

Наиболее прецизионным прибором с классом точности 0,01 является **магазин сопротивлений Р327** (рис.10). Основные технические характеристики магазина сопротивлений Р327 приведены в таблице 5 [2].

Таблица 5. Технические характеристики магазина сопротивлений Р327

№	Параметр	Величина
1	Диапазон измерения, Ом	0,1-1 1...10 10 – 100 100- 1000 1000 – 10000 10000 – 100000
	Класс точности	0,01
2	Напряжение питания, В	230 В (50Hz)
3	Габаритные размеры (мм)	200x250x100



Рис.10. Прецизионный магазин сопротивлений Р4833

Зарубежные фирмы также производят мостовые измерители. Наиболее распространенным является декадный магазин сопротивлений PRS-37. Внешний вид магазина сопротивлений PRS-37 представлен на рис.11.



Рис.11. Декадный магазин сопротивлений PRS-37

Прибор имеет следующие технические характеристики:

- Диапазон сопротивления: от 0,1 Ом до 20 МОм с разрешением 1 мкОм или 6 цифр.
- Прецизионный эталон сопротивления лабораторного класса с точностью <10 частей на миллион при использовании в режиме цифрового мультиметра или точностью <70 частей на миллион в режиме источника.
- Самонастраивающийся эталон сопротивления при использовании с цифровым мультиметром (Fluke 8508A, 8588A1 или Keysight 3458A).
- Большой цветной сенсорный экран и интуитивно понятный интерфейс.
- Может использоваться как в качестве ручного, так и программируемого устройства как в лабораторных, так и в производственных условиях.
- Не требует затрат на техническое обслуживание, встроенная процедура прошивки позволяет выполнять автоматическую калибровку и регулировку устройства, поэтому, если оно выходит за пределы технических характеристик, оно автоматически восстанавливается менее чем за 30 минут.
- Потребляемая мощность 0,5 Вт.
- Отсутствие нуля или сопротивление переключателя 0,1 Ом равно 0,1 Ом
- Предусмотрена возможность работы на переменном токе
- Интерфейс GPIB IEEE 488.2 — драйверы LabView с полным набором команд SCPI [3].

Описание лабораторного стенда

В лабораторной работе используются макетная плата с наборным полем (рис.12).

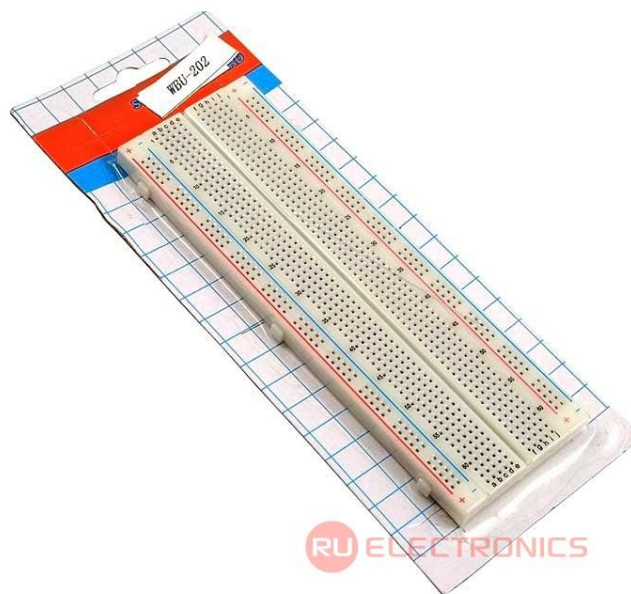


Рис.12. Макетная плата с наборным полем

Макетная плата состоит из пластиковой основы с большим количеством отверстий. В отверстия можно вставлять соединительные проводники и выводы электронных компонентов. В каждом отверстии закреплен контакт с самозажимной скобой. Контакты соединены между собой образуя однопотенциальные шины, которые можно использовать для образования связей между элементами электронной схемы. В настоящее время промышленности выпускает широкую гамму таких макетных плат разного размера с разным количеством контактов и шин. На рисунке 13 показана внутренняя структура «беспаячной» макетной платы.

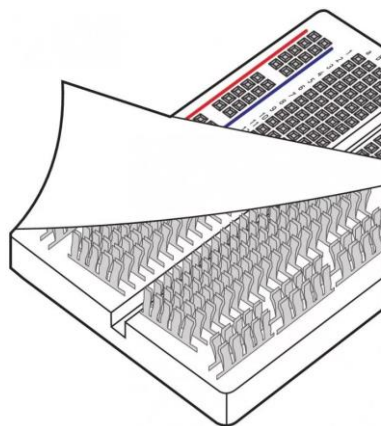


Рисунок 13. Контакты беспаячной макетной платы.

При сборке электронной схемы необходимо учитывать схему соединения контактов самой «беспаячной» платы. Вся номенклатура таких макетных плат, вне зависимости от их размеров и производителя, выполнена по одному стандарту. Отличие может быть только в наличии или отсутствии отдельных контактов шины питания. Схема соединения контактов макетной платы приведена на рисунке 14.

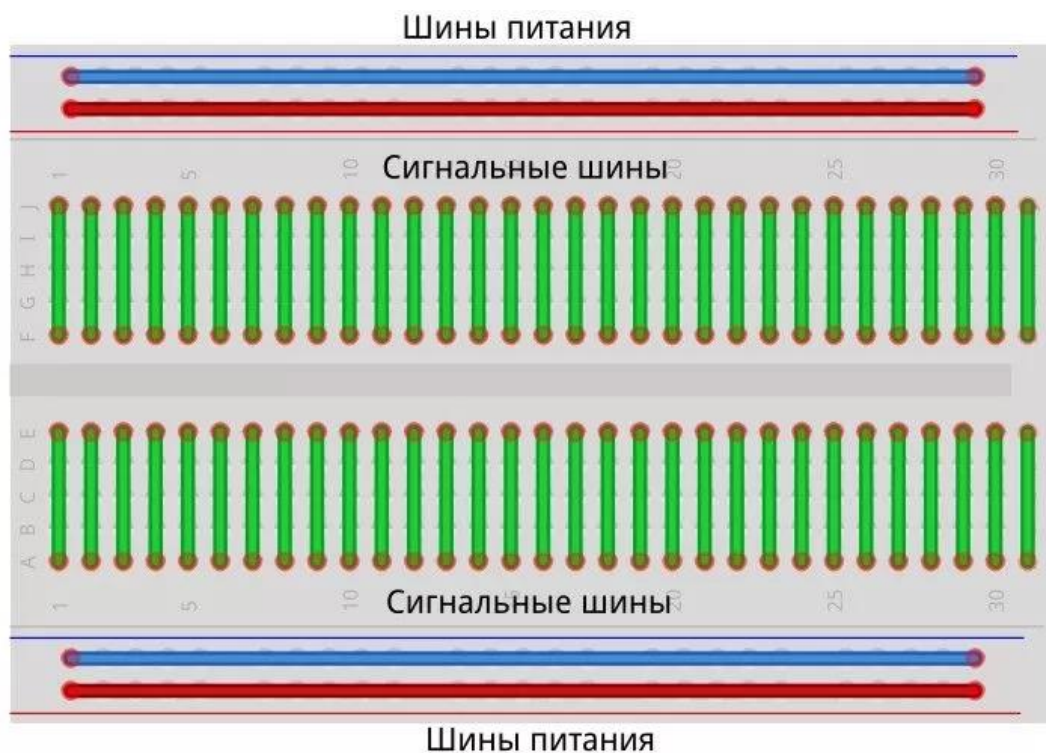


Рисунок 14. Схема соединения контактов макетной платы

Макетная плата оснащена двумя группами шин питания, одна группа располагается сверху макетной платы, вторая снизу макетной платы. Шины питания имеют горизонтальное расположение. Сигнальные линии первой группы обозначены буквами A, B, C, D, E и имеют соединения от A до E. Сигнальные линии второй группы обозначены буквами F, G, H, I, J и имеют соединения от F до J. Каждая группа состоит из 31 сигнальной шины. Например, контакт 1A соединен с контактами 1B, 1C, 1D и 1E. А контакт 1J, будет соединен с контактами 1I, 1H, 1G и 1F. Для удобства шины питания выделены красным и синим цветами. К красной шине первой группы можно подключить питание +5 вольт, к синей шине – общий провод этого источника.

К красной шине второй группы можно подключить питание +3,3 вольта, к синей – общий провод этого источника. Обе питающие группы, как и сигнальные, между собой никак не связаны.

При сборке электронной схемы соединения между выводами электронных компонентов выполняют с помощью перемычек или проводов, которые могут быть изготовлены из жесткого материала или из гибкого. На рисунке 15 показаны примеры перемычек.



Рисунок 15. Виды перемычек для безопасных макетных плат

При монтаже схемы следует выбирать наиболее короткие соединительные проводники. Это позволит уменьшить излучаемые и принимаемые помехи, а также уменьшить распределенную емкость соединительных проводов и уменьшить искажения фронтов импульсных сигналов. Также, сбои в работе схемы могут появиться из-за плохого контакта между радиоэлементом и зажимным контактом макетной платы.

Для сборки измерительного моста Уитстона имеется набор резисторов номиналом 100 Ом, 150 Ом, 200 Ом, 240 Ом, 270 Ом, 300 Ом, 330 Ом, 360 Ом, 390 Ом, 430 Ом, 470 Ом, 510 Ом, 560 Ом, 620 Ом, 680 Ом, 750 Ом, 820 Ом, 910 Ом и 1 кОм с допустимым отклонением 1%.

Предварительное задание

1. Изучить разделы курса и краткие теоретические сведения.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

3. Ознакомиться с рабочим заданием, методическими указаниями к работе.

4. Подготовить бланк отчёта.

Программа работы

1. Получить у преподавателя допуск к работе.

2. Получить у преподавателя набор резисторов для сборки моста Уитстона.

3. Подключить источник питания 12В к шинам питания макетной платы.

4. Собрать схему моста Уитстона.

5. В диагональ моста подключить вольтметр.

6. Другую диагональ моста подключить к источнику питания.

7. Измерить напряжение в диагонали моста для трех измерительных резисторов разного сопротивления.

8. Рассчитать теоретическое значение напряжения в диагонали моста.

9. Оформить отчёт по проделанной работе.

Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Описание лабораторной установки.

3. Программа работы.

4. Заполнить таблицу значений напряжения в диагонали моста для трех значений измерительного резистора.

5. Привести результаты расчетов.

6. Сравнить результаты расчетов и экспериментальных значений.

7. Определить погрешность измерения.

8. Сделать выводы.
9. Привести ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей балансируют мост?
2. В какую диагональ моста следует подсоединить индикатор?
3. Можно ли в мостовой схеме использовать вольтметр вместо гальванометра?
4. Как влияет напряжение питания на точность измерения в мостовой схеме?
5. Какой ток течет через гальванометр в уравновешенном мосте?
6. Какой источник тока необходим для измерения емкости конденсатора?
7. Почему индуктивность измеряют на переменном токе?
8. Почему комплексное сопротивление измеряют на переменном токе?
9. Для каких целей используется двойной измерительный мост (мост Томсона)?

Источники информации

1. Измерительный мост – [Электронный ресурс] – Режим доступа https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82 – Заглавие с экрана (дата обращения 17.10.2022).
2. Магазин сопротивлений Р327 – [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://temir-pribor.ru/catalog/magaziny-soprotivleniy-mosty/magazin-soprotivleniy-r327/> – Заглавие с экрана (дата обращения 17.10.2022).
3. Декадный магазин сопротивлений PRS-37– [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://temir-pribor.ru/catalog/magaziny-soprotivleniy-mosty/magazin-soprotivleniy-r327/> – Заглавие с экрана (дата обращения 17.10.2022).