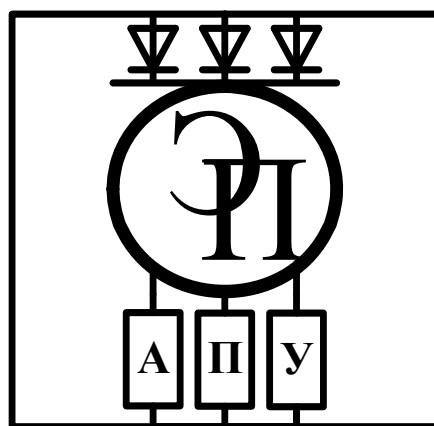


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

ОСНОВЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

*Методические рекомендации к самостоятельной работе
для студентов специальности
6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов
и производств» заочной формы обучения*



Могилев 2026

УДК 681.2
ББК 30.2
О75

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок» «29» августа 2025 г., протокол № 1

Составитель О. А. Капитонов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Н. В. Герасименко

Методические рекомендации к самостоятельной работе предназначены для студентов специальности 6-05-0713-04 «Автоматизация технологических процессов и производств» заочной формы обучения.

Учебное издание

ОСНОВЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Ответственный за выпуск

А. С. Коваль

Корректор

И. В. Голубцова

Компьютерная верстка

Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

1 Самостоятельная работа № 1. Обработка результатов измерений	4
2 Самостоятельная работа № 2. Расчет добавочного сопротивления и измерительного шунта.....	14
Список литературы	17

1 Самостоятельная работа № 1. Обработка результатов измерений

Цель работы: ознакомиться с основными способами обработки результатов эксперимента; получить практические навыки по обработке результатов эксперимента.

Краткие теоретические сведения

Типы измеряемых величин.

Измерением какой-либо физической величины называется операция, позволяющая узнать, во сколько раз измеряемая величина больше (или меньше) соответствующей величины, принятой за единицу.

Измерения разделяются на прямые и косвенные.

Прямыми называются такие измерения, при которых искомая величина сравнивается с единицей измерения непосредственно или при помощи измерительного прибора, проградуированного в соответствующих единицах. Примерами прямых измерений являются измерения длины линейкой или штангенциркулем; измерения масс на рычажных весах с помощью набора разновесов; измерения промежутков времени при помощи часов или секундомера; измерения температуры термометром, напряжения вольтметром и т. п. Значение измеряемой величины отсчитывается при этом по шкале прибора или определяется подсчетом мер, разновесов и т. д.

Косвенными называются измерения, при которых искомая величина находится как функция нескольких непосредственно измеряемых величин. Примерами косвенных измерений могут служить: нахождение плотности твердого тела путем измерения его массы и объема; измерение вязкости жидкости по ее объемному расходу при истечении через круговой капилляр, длине и сечению этого капилляра или по скорости падения в этой жидкости маленького шарика, его плотности и диаметру и т. п.

Физические величины, встречающиеся в эксперименте, относят к следующим основным типам:

- 1) случайная величина;
- 2) постоянная величина;
- 3) изменяющаяся (переменная) величина;
- 4) нестабильная величина.

Случайная величина связана со случайными процессами, поэтому результат отдельного измерения не может быть однозначно предсказан заранее. Вместе с тем проведение достаточно большого количества измерений случайной величины позволяет установить, что результаты измерений отвечают определенным статистическим закономерностям. Их выявление, изучение и учет составляют неотъемлемую часть любого эксперимента. В качестве случайных величин можно рассматривать, например, скорость молекулы газа в фиксированный момент времени, отклонение значения амплитуды сетевого

напряжения от номинальной величины, время, необходимое для распада ядра радиоактивного атома, и т. п.

К постоянным величинам должны быть отнесены физические постоянные, например, скорость света в вакууме, заряд электрона, постоянная Больцмана и т. п. Можно считать постоянными величинами также некоторые характеристики конкретного объекта, находящегося при фиксированных условиях. Этот тип физических величин чаще всего встречается в экспериментах, например, при определении длины образца, его массы, теплоемкости и т. п. Однако многократные измерения постоянной величины могут дать неодинаковые результаты. Дело в том, что результаты измерений подвержены неконтролируемым, а значит, неучтенным влияниям многочисленных воздействий внешней среды, включая неконтролируемые процессы в исследуемых объектах и используемых измерительных приборах. Вследствие этого постоянная величина зачастую проявляет себя как случайная величина, а результаты ее измерений отражают случайную природу воздействий и отвечают определенным статистическим закономерностям. Именно поэтому для обработки результатов измерения постоянной величины естественно использовать методы, характерные для обработки результатов измерения случайной величины.

Изменяющаяся (переменная) величина закономерно меняется с течением времени вследствие процессов, проходящих в исследуемом объекте. Примерами могут служить скорость сложной химической реакции, затухание амплитуды колебаний свободного маятника и т. п. Измерения, проводимые в различные моменты времени, фиксируют величину в новых условиях. Набор результатов однократных измерений представляет собой результаты принципиально неповторимых измерений, т. к. время нельзя повернуть вспять, а измерение в целом не может расцениваться как многократное.

Нестабильная величина меняется с течением времени без каких бы то ни было статистических закономерностей. К основной характеристике нестабильной величины следует отнести отсутствие у экспериментатора информации о ее зависимости от времени. Измерения такой величины дают набор данных, не несущих сколько-нибудь полезных сведений. Вместе с тем нестабильная величина может быть переведена в разряд изменяющихся величин, если экспериментально или теоретически установлена закономерность в зависимости ее от времени.

Типы погрешностей измерений.

Погрешность – количественная характеристика неоднозначности результата измерения. Ее оценивают исходя из всей информации, накопленной при подготовке и выполнении измерений. Эту информацию обрабатывают для совместного определения окончательного результата измерения и его погрешности. Окончательный результат нельзя расценивать как «истинное значение» измеряемой физической величины, т. к. в этом нет смысла из-за наличия погрешности.

Погрешность может быть выражена в единицах измеряемой величины x . В таком случае она обозначается Δx и носит название абсолютной погрешности.

Однако абсолютная погрешность не отражает качества измерений: например, абсолютная погрешность 1 мм при измерении размеров помещения свидетельствует о высоком качестве измерения, та же погрешность совершенно неприемлема при измерении диаметра тонкой проволоки.

Критерием качества измерения является отношение абсолютной погрешности к окончательному результату измерения:

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x}. \quad (1.1)$$

Это отношение безразмерно. Величину Δx называют относительной погрешностью и используют как в абсолютном, так и в процентном выражении. Высокой точности измерения соответствует малое значение относительной погрешности.

Основные типы погрешностей:

- 1) промах или грубая погрешность;
- 2) приборная погрешность;
- 3) модельная погрешность;
- 4) случайная погрешность.

Промахи или грубые погрешности возникают вследствие неисправности измерительных приборов или ошибок в эксперименте, сделанных по невнимательности. Естественно стремление избегать промахи, но, если стало понятно, что они все-таки допущены, соответствующие им результаты измерений необходимо отбросить и при возможности повторить эксперимент в этой области значений.

Приборная погрешность – систематическая погрешность, присутствующая в результатах измерений, выполненных с помощью любого измерительного прибора. Приборная погрешность, как правило, неизвестна и не может быть учтена. Ее можно оценить только путем сравнения показаний прибора с показаниями другого, более точного. Иногда результаты специально проведенного сравнения приводят в паспорте прибора, однако чаще указывают максимально возможную погрешность для приборов данного типа.

Модельная погрешность. В основу любого экспериментального исследования, сопряженного с измерениями, заложена модель. Модель содержит физическое описание исследуемого объекта или процесса, которое позволяет составить его математическое описание, а именно набор функциональных соотношений, включающих физические величины. Неверно построенная модель, в которой не нашли отражения какие-то важные процессы или факторы, влияющие на результат измерений, также приводит к несоответствиям. Как следствие, измеряемые в эксперименте величины, вычисляемые по полученным из модели рабочим формулам, содержат погрешности, которые носят название модельных погрешностей. К разряду модельных может быть отнесена погрешность взвешивания на рычажных весах. Согласно закону Архимеда, вес тела и гири уменьшается из-за действия выталкивающей силы воздуха. Напомним, что вес 1 м³ воздуха равен примерно 10 Н. Для того чтобы правильно найти массу взве-

шиваемого тела, нужно ввести поправки на потерю веса гирями и самим телом. Вместе с тем, как и при любых измерениях, здесь необходим разумный подход. Например, при работе с грубыми техническими весами бессмысленно вводить поправку на Архимедову силу, т. к. она окажется много меньше погрешностей, вносимых в результат измерения гирями и самими весами.

Случайные погрешности при повторных измерениях погрешности этого типа показывают свою случайную природу. Возникают они вследствие множества причин, совместное воздействие которых на каждое отдельное измерение невозможно учесть или заранее установить. Такими причинами могут оказаться, к примеру, незначительные колебания температуры различных деталей и узлов установки, скачки напряжения, вибрации, турбулентные движения воздуха, трение в механизмах, ошибки считывания показаний приборов и т. п. Единственно возможный способ объективного учета случайных погрешностей состоит в определении их статистических закономерностей, проявляющихся в результатах многократных измерений. Рассчитанные статистические оценки вносят в окончательный результат измерения.

Запись результата измерений.

Пусть проведено n измерений некоторой физической величины x . Результаты этих отдельных измерений обозначим через $x_1, x_2, \dots, x_n$. Истинное значение измеряемой величины (неизвестное нам) обозначим буквой X .

В соответствии с требованиями ГОСТ 8.011–72 и ГОСТ 8.207–76, необходимо, кроме полученного результата, указать приближенную ошибку Δx измерений (называемую еще абсолютной погрешностью), записав результат в виде

$$X = \langle x \rangle \pm \Delta x \quad (1.2)$$

с обязательным указанием единиц измерения и надежности p , для которой ГОСТ 8.207–76 предписывает значение $p = 0,95$.

Запись (1.2) означает, что истинное значение X измеряемой величины $\langle x \rangle$ лежит в интервале $(\langle x \rangle - \Delta x, \langle x \rangle + \Delta x)$ с некоторой вероятностью p (по ГОСТу эта вероятность должна быть равна 95 %).

Среднее значение.

Если измерения сопровождаются разбросом экспериментальных данных, в качестве среднего значения $\langle x \rangle$ измеряемой величины x в выражении (1.2) принимается среднее арифметическое значение

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (1.3)$$

где n – число измерений.

При использовании этой формулы нужно иметь в виду, что в ней все x_i независимы и равновероятны.

Истинное значение.

Под «истинным» значением X измеряемой величины следует понимать среднее арифметическое значение при бесконечном числе измерений (в формуле (1.3) n следует устремить к ∞). Поскольку выполнить бесконечное число измерений принципиально невозможно, то следует согласиться, что экспериментатор может иметь дело только со средними арифметическими величинами $\langle x \rangle$ и принять, что $X \approx \langle x \rangle$.

Доверительный интервал.

Интервал $(\langle x \rangle - \Delta x, \langle x \rangle + \Delta x)$ с центром в точке $\langle x \rangle$ и полушириной, равной погрешности Δx , в котором с вероятностью p ($p = 0,95$) заключено истинное значение X измеряемой величины $\langle x \rangle$, называется доверительным интервалом.

Коэффициент надежности.

Параметр $p = 0,95$ называется коэффициентом доверия, или коэффициентом надежности, или просто надежностью. Значение коэффициента надежности $p = 0,95$, предписываемое ГОСТом, означает, что вероятность попадания результатов достаточно длинной серии отдельных измерений в доверительный интервал $(\langle x \rangle - \Delta x, \langle x \rangle + \Delta x)$ составляет 95 %.

Абсолютная погрешность.

Абсолютной ошибкой i -го измерения Δx_i называется отклонение результата i -го измерения x_i от среднего значения $\langle x \rangle$:

$$\Delta x_i = \langle x \rangle - x_i. \quad (1.4)$$

Абсолютной ошибкой, или абсолютной погрешностью результата всех измерений называется полуширина Δx доверительного интервала $(\langle x \rangle - \Delta x, \langle x \rangle + \Delta x)$.

Относительная погрешность.

Качество результатов измерений обычно удобно характеризовать не абсолютной величиной ошибки Δx , а ее отношением к измеряемой величине $\langle x \rangle$, которое называется относительной ошибкой и обычно выражается в процентах:

$$\Delta x_{\text{отн}} = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle}. \quad (1.5)$$

Виды ошибок измерений.

По характеру происхождения все ошибки измерений можно разделить на три типа – систематические, случайные и грубые ошибки, или промахи.

Систематическая ошибка.

Систематическая ошибка – это смягченное выражение, заменяющее слова «ошибка экспериментатора».

Систематические ошибки остаются, как правило, постоянными на протяжении всей серии опытов. Величина их может быть и известной, и неизвестной заранее.

Систематические погрешности могут быть обусловлены различными причинами:

- ограниченной точностью изготовления прибора (погрешностью прибора);
- такие ошибки часто возникают из-за того, что реальная установка в чем-то отличается от идеальной, или условия эксперимента отличаются от предполагаемых теорией, а поправки на это несоответствие не делаются;
- систематические ошибки могут быть обусловлены также неправильным выбором метода измерений.

При наличии скрытой систематической погрешности результат, приведенный с незначительной ошибкой, будет выглядеть вполне надежным, хотя на самом деле он является неверным.

Систематические ошибки не поддаются математическому анализу, поэтому их нужно выявить и устранить. Если удастся обнаружить причину и найти величину сдвига (например, вес вытесненного телом воздуха при точном взвешивании), то систематическую погрешность можно исключить введением поправки к измеренному значению. Однако общих рецептов и универсальных правил, позволяющих обнаружить систематические ошибки конкретного измерения, не существует. Выявление, оценка и устранение таких ошибок требует опыта, догадки и интуиции экспериментатора. Нужно тщательно продумывать методику опытов и придирчиво выбирать аппаратуру. Иногда систематическую ошибку, обусловленную измерительным прибором, можно уменьшить, используя более точный прибор, желательно другого типа. Наиболее действенный способ обнаружения систематических ошибок – это сравнение результатов измерений одной и той же величины, выполненных принципиально разными методами.

Случайная ошибка.

Случайные ошибки проявляются в разбросе отсчетов при повторении измерений в одних и тех же доступных контролю условиях.

Величина случайных ошибок различна даже для измерений, выполненных одинаковым образом. Случайные ошибки происходят вследствие меняющихся от измерения к измерению неконтролируемых причин, действие которых неодинаково в каждом опыте и не всегда может быть учтено.

Проделав измерения и используя методы обработки, основанные на теории ошибок, можно дать оценку случайной ошибки и указать вероятность, с которой истинное значение измеряемой величины находится внутри некоторого доверительного интервала.

Случайную ошибку можно уменьшить путем многократного повторения измерений.

Промех.

Следует особо выделить такой вид ошибок, как грубый просчет, или промах. Под промахом понимается ошибка, сделанная вследствие неверной записи показаний прибора, недосмотра экспериментатора или вызванная неисправностями аппаратуры. Например, неправильно записанный отсчет, замыкание электрической цепи являются промахами, которых следует по возможности избегать. Если серия из небольшого числа измерений содержит грубую ошибку – промах, то наличие этого промаха может сильно исказить как среднее значение $\langle x \rangle$ измеряемой величины, так и погрешность измерения Δx . Поэтому такой промах необходимо исключить из окончательного результата. Обычно промах имеет значение, резко отличающееся от других данных. Иногда промах удастся выявить, повторив измерение. Для устранения промахов нужно соблюдать аккуратность и тщательность в работе и записи данных. Как правило, грубые ошибки могут быть обнаружены, поэтому результаты таких измерений следует отбрасывать.

Задание для самостоятельного выполнения

Получить у преподавателя матрицу измерений, содержащую n измерений некоторой физической величины x . Далее произвести обработку результатов измерений в следующем порядке.

1 Записываем в таблицу результаты каждого из отдельных измерений $x_1, x_2, \dots, x_n$.

2 Вычисляем среднее арифметическое значение $\langle x \rangle$ из n измерений:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}. \quad (1.6)$$

3 Находим абсолютные погрешности отдельных измерений:

$$\Delta x_i = \langle x \rangle - x_i. \quad (1.7)$$

4 Определяем из таблицы 1.1 коэффициент Стьюдента t_{pn} для числа проведенных измерений n (и заданной надежности $p = 0,95$).

Таблица 1.1 – Коэффициенты Стьюдента

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	∞
t_{pn}	12,7	4,3	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3	2,1	2,0

5 Вычисляем абсолютную случайную погрешность Δx результата всех n измерений по формуле

$$\Delta x_0 = t_{pn} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle x \rangle - x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (1.8)$$

6 Вычисляем абсолютную погрешность прибора Δ_{np} по формуле

$$\Delta_{np} = \frac{2}{3} \cdot \delta, \quad (1.9)$$

где δ – предельная ошибка прибора, указываемая на шкале прибора или в его паспорте.

7 Вычисляем абсолютную погрешность округления прибора $\Delta_{окр}$ по формуле

$$\Delta_{окр} = 0,48 \cdot \omega, \quad (1.10)$$

где ω – цена наименьшего деления прибора.

Погрешности прибора Δ_{np} и округления $\Delta_{окр}$ для некоторых приборов, применяемых в лабораторном практикуме по механике, указаны в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Погрешности приборов

Прибор	Цена наименьшего деления ω	Предельная погрешность прибора δ	Погрешность прибора Δ_{np}
Микрометр	0,01 мм	0,01 мм	0,007 мм
Штангенциркуль	0,1 мм	0,1 мм	0,07 мм
Штангенциркуль	0,05 мм	0,05 мм	0,03 мм
Весы технические	0,1 г (100 мг)	0,01 г	0,07 г
Линейка	1 мм	1 мм	0,7 мм
Секундомер	0,2 с	0,2 с	0,14 с
Мультиметр	0,2 Ом	0,2 Ом	0,15 Ом

8 Определяем суммарную абсолютную погрешность Δx опыта по формуле

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_0)^2 + (\Delta_{np})^2 + (\Delta_{окр})^2}. \quad (1.11)$$

При вычислении Δx по формуле (1.11) можно отбросить одну или две из погрешностей Δx_0 , Δ_{np} и $\Delta_{окр}$, если их величины вдвое или значительно меньше оставшихся.

9 Округляем абсолютную погрешность Δx .

10 Записываем окончательный результат эксперимента в виде

$$X = \langle x \rangle \pm \Delta x. \quad (1.12)$$

11 Округляем среднее значение $\langle x \rangle$ таким образом, чтобы погрешность Δx приходилась:

– на последний разряд среднего $\langle x \rangle$, если Δx записано с одной значащей цифрой: $X = (6438 \pm 523) \approx (6,4 \pm 0,5) \cdot 10^3$ м;

– на два последних разряда среднего $\langle x \rangle$, если Δx записано с двумя значащими цифрами: $X = (6438 \pm 124) \approx (6,44 \pm 0,12) \cdot 10^3$ м.

12 Определяем относительную погрешность $\Delta x_{\text{отн}}$ результата серии измерений:

$$\Delta x_{\text{отн}} = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle}. \quad (1.13)$$

13 Записываем теоретическое, или табличное, значение физической величины x . Приводим подробную ссылку на цитируемый источник.

Например: табличное значение плотности алюминия при температуре 20 °С $\rho = 2,69$ г/см³.

14 Сравниваем полученный в наших экспериментах результат с данными предыдущего п. 13. Если эти результаты значительно различаются, следует установить причины такого расхождения: проверить вычисления; повторить измерения для одного-двух характерных значений параметров.

15 Записываем вывод.

Например: в пределах погрешности эксперимента результаты наших измерений согласуются (не согласуются) с теоретическим, или табличным, или приведенным в цитируемой работе [N] значением (расхождение результатов может быть обусловлено следующими причинами: ..., или следующими недостатками используемых приборов и методики эксперимента: ...).

Варианты индивидуальных заданий

Вариант 1. Измерения амперметром.

0,12 А
0,15 А
0,14 А
0,13 А
0,16 А
0,14 А
0,15 А
0,14 А
0,13 А
0,15 А

Вариант 2. Измерения амперметром.

1,02 А
1,15 А

0,98 A
1,08 A
1,12 A
1,05 A
1,09 A
1,00 A
1,11 A
1,04 A

Вариант 3. Измерения амперметром.

12,4 A
12,7 A
12,2 A
12,5 A
12,6 A
12,3 A
12,8 A
12,4 A
12,5 A
12,6 A

Вариант 4. Измерения вольтметром.

0,103 В
0,101 В
0,100 В
0,104 В
0,099 В
0,102 В
0,101 В
0,100 В
0,103 В
0,101 В

Вариант 5. Измерения вольтметром.

120,4 В
121,1 В
119,8 В
120,7 В
121,0 В
120,2 В
120,5 В
119,9 В

120,6 В

120,3 В

2 Самостоятельная работа № 2. Расчет добавочного сопротивления и измерительного шунта

Цель работы: изучить методику расчетов значений добавочных сопротивлений и измерительных шунтов для расширения пределов измерения вольтметров и амперметров.

Краткие теоретические сведения

Измерение силы тока.

Амперметр включается в цепь последовательно на измеряемом участке цепи.

В цепях постоянного тока применяют магнитоэлектрические приборы.

Сопротивление амперметра должно быть на два порядка меньше сопротивления любого элемента измеряемой цепи.

Для расширения предела измерения амперметра (в n раз) служат шунты – резисторы с сопротивлением, меньшим чем сопротивление амперметра. Шунты включаются параллельно амперметру (рисунок 2.1).

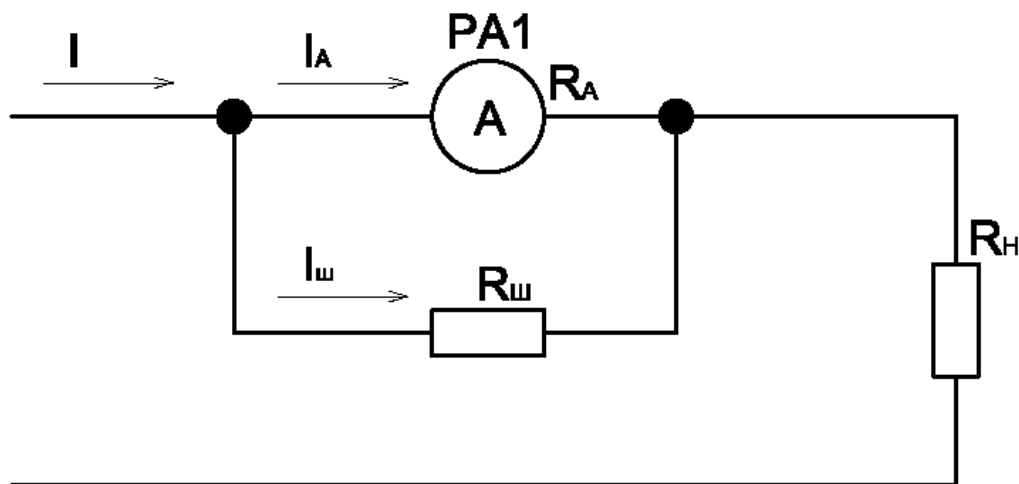


Рисунок 2.1 – Схема включения амперметра с шунтом

В многопредельных амперметрах шунты располагаются внутри прибора.

Расчет сопротивления шунта следующий.

Ток, протекающий через амперметр PA1, должен быть в n раз меньше измеряемого тока в цепи I :

$$I = n \cdot I_A. \quad (2.1)$$

Ток, протекающий через шунт $I_{ш}$,

$$I_{ш} = I - I_A = n \cdot I_A - I_A = (n - 1) \cdot I_A. \quad (2.2)$$

Сопротивление шунта найдем из закона Ома:

$$I_{ш} \cdot R_{ш} = (n - 1) \cdot I_A \cdot R_{ш} = I_A \cdot R_A, \quad (2.3)$$

где R_A – сопротивление амперметра, Ом;

$R_{ш}$ – сопротивление шунта, Ом.

Тогда сопротивление шунта

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}. \quad (2.4)$$

Чтобы расширить предел измерения амперметра в n раз, необходимо включить параллельно амперметру шунт сопротивлением в $n - 1$ раз меньше, чем сопротивление амперметра.

Измерение напряжения.

Вольтметр присоединяют параллельно с измеряемым элементом цепи R_H .

Сопротивление вольтметра должно быть на два порядка больше сопротивления любого элемента измеряемой цепи.

Для расширения предела измерения вольтметра (в n раз) применяют добавочные резисторы, включаемые последовательно с вольтметром (рисунок 2.2).

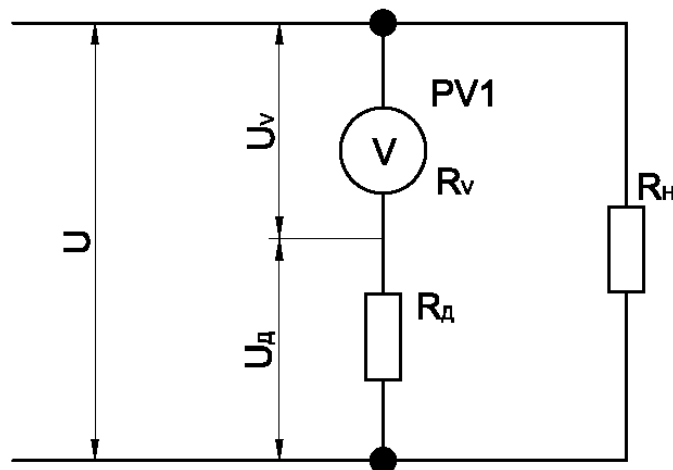


Рисунок 2.2 – Схема включения вольтметра с шунтом

Расчет добавочного сопротивления R_d следующий.

Падение напряжения на вольтметре U_v должно быть в n раз меньше измеряемого напряжения U :

$$U = n \cdot U_v. \quad (2.5)$$

Падение напряжения на добавочном резисторе

$$U_D = U - U_V = n \cdot U_V - U_V = (n - 1) \cdot U_V. \quad (2.6)$$

Применим закон Ома для участка цепи:

$$I_V = \frac{U_V}{R_V} = \frac{U_D}{R_D} = \frac{(n-1) \cdot U_V}{R_D}, \quad (2.7)$$

где R_V – сопротивление вольтметра, Ом.

Выразим сопротивление добавочного резистора R_D :

$$R_D = (n - 1) \cdot R_V. \quad (2.8)$$

Сопротивление добавочного резистора должно быть в $n - 1$ раз больше сопротивления вольтметра для увеличения предела измерений в n раз.

Задания для самостоятельного выполнения

Задание 1

Исходные данные: стрелочный вольтметр имеет среднюю чувствительность 20 кΩ/В и шкалу 0...0,5 В. Требуется получить шкалу 0...10 В при том же пределе чувствительности.

Требуется: определить номинал добавочного (последовательно включённого) сопротивления R_D ; рассчитать полное входное сопротивление нового вольтметра $R_{вх}$; показать схему; указать, где подключается R_D .

Задание 2

Исходные данные: цифровой вольтметр с входным сопротивлением 10 МΩ на пределе 0...1 В. Нужно измерять до 100 В, но при этом максимально снизить влияние на схему (требуемое входное сопротивление нового вольтметра – не менее 1 МΩ).

Требуется: рассчитать добавочное сопротивление R_D для расширения шкалы до 100 В с требуемым минимумом входного сопротивления; вычислить фактическое входное сопротивление получившегося делителя; показать, соответствует ли требованию ≥ 1 МΩ.

Задание 3

Исходные данные: амперметр с внутренним сопротивлением $R_m = 0,5 \Omega$ рассчитан на прямой ток до 5 А. Нужно получить предел измерения до 50 А, сохранив метрологические характеристики (падение напряжения на приборе при полном токе должно остаться тем же).

Требуется: рассчитать шунт $R_{ш}$ (параллельно прибору) и долю тока через прибор I_m при $I_{\max} = 50$ А; привести схему подключения.

Задание 4

Исходные данные: амперметр $R_m = 0,2 \text{ } \Omega$; предел – 2 А. Нужно увеличить предел до 20 А. Шунт изготавливается из медного провода с температурным коэффициентом сопротивления $\alpha = 0,0039 \text{ } 1/^\circ\text{C}$; номинальная температура – 20 °С. Рассчитать $R_{ш}$ для 20 А и оценить относительную погрешность результата при изменении температуры шунта до 40 °С.

Требуется: найти $R_{ш}$ при 20 °С, затем $R_{ш}$ (40 °С) и относительную ошибку тока/показания амперметра из-за нагрева шунта.

Задание 5

Исходные данные: есть один универсальный прибор: амперметр-стрелка с $R_m = 1 \text{ } \Omega$ при 1 мА (полный ток прибора) и вольтметр на той же основе с чувствительностью 1 к Ω /В. Требуется: для амперметра сделать предел 10 А, рассчитать $R_{ш}$ и падение напряжения при полном 10 А; для вольтметра расширить предел от 1 до 300 В, рассчитать R_d и итоговое входное сопротивление.

Требуется: выполнить полные расчёты для обеих частей; указать схемы; рассчитать мощность на шунте и на добавочном сопротивлении при максимуме.

Список литературы

1 Метрология : учебник / О. Б. Бавыкин, О. Ф. Вячеславова, Д. Д. Грибанов [и др.] ; под общ. ред. С. А. Зайцева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2024. – 522 с.

2 Молдабаева, М. Н. Контрольно-измерительные приборы и основы автоматики : учеб. пособие / М. Н. Молдабаева. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 332 с.

3 Электрорадиоизмерения : учебник / В. И. Нефедов, А. С. Сигов, В. К. Битюков, Е. В. Самохина. – 4-е изд. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2015. – 384 с.