

ЛЕКЦИЯ 6. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

В процессе измерения получают оценку значения физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Размер величины существует реально и остается неизменным. Числовое значение физической величины определяется принятой при измерении единицей этой величины, т. е. один и тот же размер может быть выражен различными числовыми значениями в зависимости от принятой единицы физической величины. Различают истинное и действительное значения физической величины.

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

В философском аспекте истинное значение всегда остается неизвестным, а совершенствование измерений позволяет приближаться к истинному значению физической величины.

Действительное значение физической величины – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него. На практике это значение получают при помощи эталонов.

Погрешность результата измерений – это отклонение результата измерений X от истинного $X_{\text{и}}$ значения измеряемой величины. Погрешность измерения ΔX определяется по формуле

$$\Delta X = X - X_{\text{и}} \quad (6.1)$$

Так как на практике используется действительное значение величины $X_{\text{д}}$, то формула для определения погрешности примет вид

$$\Delta X = X - X_{\text{д}} \quad \text{или} \quad \Delta = X - X_{\text{д}} \quad (6.2)$$

Погрешность, определяемая формулой (6.2), выражена в единицах измеряемой величины и называется **абсолютной погрешностью измерения**.

Недостатком такого способа выражения погрешности является то, что погрешности представленные в единицах измеряемой величины нельзя использовать для сравнительной оценки точности разных измерительных технологий. Действительно, $\Delta = 0,05\text{мм}$ при $X_{\text{д}} = 100\text{мм}$ соответствует достаточно высокой точности, а при $X_{\text{д}} = 1\text{мм}$ – низкой (значение погрешности одно и то же, а точность разная). Этого недостатка лишено понятие *относительная погрешность*.

Относительная погрешность измерения – отношение абсолютной погрешности измерения к действительному значению измеряемой величины. Относительную погрешность δ в долях или процентах находят из отношений

$$\delta = \frac{\Delta}{x_d} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\Delta}{x_d} 100\% \quad (6.3)$$

Вернувшись к предыдущему примеру получим, в первом случае $\delta_1 = 0,05\%$, а во втором $\delta_2 = 5\%$. Здесь погрешности уже имеют разные числовые значения, из которых следует, что измерение по второй технологии имеет точность намного ниже.

Получаемую оценку погрешности в зависимости от причин возникновения, характера и условий проявления принято выражать суммой двух составляющих, называемых случайной ψ и систематической θ погрешностями измерений:

$$\Delta = \psi + \theta \quad (6.4)$$

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность определяется факторами, проявляющимися нерегулярно с изменяющейся интенсивностью (например, наводки от внешних электромагнитных полей). Значение и знак случайной погрешности определить невозможно, так как в каждом опыте причины, вызывающие погрешность, действуют неодинаково. Случайная погрешность не может быть исключена из результата измерений. Однако проведением ряда повторных измерений и использованием для их обработки методов математической статистики определяют значение измеряемой величины со случайной погрешностью, меньшей, чем для одного измерения.

При организации статистических (многократных) измерений, для которых и определяется случайная погрешность, создаются условия, характеризующиеся тем, что интенсивность всех действующих факторов доводится до некоторого уровня, обеспечивающего более или менее равное влияние на формирование погрешности (проведение измерений в несколько этапов, разными людьми, в различных условиях, в разных местах и в разное время). В этом случае говорят об *ожидаемой погрешности*. Кроме этой погрешности могут иметь место *грубые погрешности* и *промахи*.

Грубой погрешностью называют погрешность измерения, существенно превышающую ожидаемую при данных условиях. Причинами грубых погрешностей могут являться неисправность средств измерений, резкое изменение условий измерений и влияющих величин (например, кратковременное отключение источника питания, механический удар и др.). Частным случаем грубой погрешности является *промах*.

Промах – погрешность измерения, которая явно и резко искажает результат. Промах является случайной субъективной ошибкой. Его появление – следствие неправильных действий экспериментатора.

Грубые погрешности и промахи обычно исключаются из экспериментальных данных, подлежащих обработке.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Примером постоянной систематической погрешности может быть погрешность, обусловленная несоответствием истинного значения меры, с помощью которой производится измерение, ее номинальному значению (например, измерительной катушки сопротивления при косвенном измерении тока).

Выявление и оценка систематических погрешностей являются наиболее трудным моментом любого измерения и часто связаны с необходимостью проведения исследований. Обнаруженная и оцененная систематическая погрешность исключается из результата введением поправки. В зависимости от причины возникновения различают следующие систематические погрешности.

Погрешность метода (теоретическая погрешность) измерений – составляющая погрешности измерения, обусловленная несовершенством метода измерений.

Измерительные преобразования осуществляются с использованием различных физических явлений, на основании которых можно установить соотношение между измеряемой величиной объекта исследования и выходным сигналом средства измерений, по которому оценивается результат измерений. Точно установить это соотношение никогда не удастся вследствие недостаточной изученности объекта исследования и неадекватности его принимаемой модели, невозможности точного учета влияния внешних факторов, недостаточной теории физических явлений, положенных в основу измерения, использования простых, но приближенных аналитических зависимостей вместо более точных, но сложных и т. д. В результате принимаемая зависимость между измеряемой величиной и выходным сигналом средства измерений всегда отличается от реальной, что и приводит к погрешности метода.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий погрешность метода.

Пусть объектом исследования является источник переменного напряжения, амплитудное значение которого U_m нужно измерить. На основании предварительного изучения объекта исследования за модель принят генератор напряжения синусоидальной формы. Используя вольтметр, предназначенный для измерений действующих значений переменных напряжений, и зная соотношение между действующим и амплитудным значением синусоидального напряжения, получаем результат измерения в виде $U_m = \sqrt{2}U_v$, где U_v – показание вольтметра. Более тщательное изучение объекта могло бы выявить, что форма измеряемого напряжения отличается от синусоидальной (см. рис. 6.1) и более правильное соотношение между значением измеряемой величины и показанием вольтметра $U_m = kU_v$, где $k \neq \sqrt{2}$. Таким образом, несовершенство принятой модели объекта исследования приводит к методической погрешности измерения $\Delta U_m = \sqrt{2}U_v - kU_v$.

Эту погрешность можно уменьшить, либо рассчитав значение k на основе анализа формы кривой измеряемого напряжения, либо заменив средство измерений, взяв вольтметр, предназначенный для измерений амплитудных значений переменных напряжений.

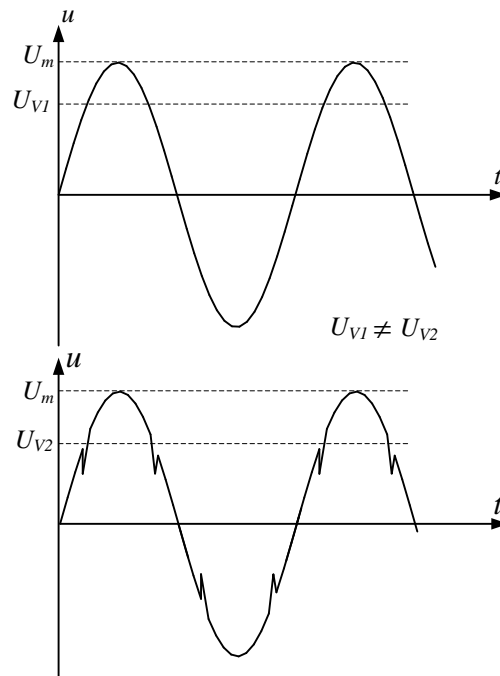


Рис. 6.1. Возникновение погрешности метода в результате искажения синусоидальной формы измеряемого напряжения

Инструментальная погрешность измерения – составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешности применяемых средств измерений. Данная погрешность имеет несколько составляющих, наиболее важные из которых определяется несовершенством конструкции (или схемы), технологии изготовления средств измерений, постепенным их износом и старением материалов, из которых эти средства измерений изготовлены.

Погрешность установки – составляющая погрешности измерения, которая является следствием неправильности установки средств измерений. Например, стрелочный вольтметр, предназначенный для размещения горизонтально, был установлен вертикально.

Погрешность от влияющих величин – составляющая погрешности измерения, которая является следствием воздействия на объект и средство измерений внешних факторов (тепловых и воздушных потоков, магнитных, электрических, гравитационных и других полей, атмосферного давления, влажности воздуха, ионизирующего излучения).

Субъективная погрешность – составляющая погрешности измерения, обусловленная индивидуальными свойствами человека, выполняющего измерение. Причиной ее являются укоренившиеся неправильные навыки выполнения измерений. К этой систематической погрешности относятся, например, погрешность из-за неправильного отсчитывания десятых долей делений шкалы прибора, погрешности из-за различной для различных людей скорости реакции и т. п.

Погрешность вычислений – составляющая погрешности измерения, возникающая в процессе математической обработки результатов измерений. Так при проведении эксперимента может появиться необходимость в обработке промежуточных результатов измерений. Для этих целей удобно использовать средства вычислительной техники. При вычислениях с помощью компьютера неизбежны погрешности округлений, связанные с ограниченностью разрядной сетки вычислительной машины. Несмотря на то, что при решении сложных задач выполняются миллиарды и триллионы операций, это вовсе не означает механического умножения погрешности при одном округлении на число операций, так как при отдельных действиях погрешности могут компенсировать друг друга. Вместе с тем иногда погрешности округлений в сочетании с плохо организованным алгоритмом могут сильно исказить результаты или даже привести к абсурдным результатам.

По характеру проявления систематические погрешности подразделяют на **постоянные** и **переменные**.

Постоянные погрешности не изменяют своего значения при повторных измерениях. Причинами этих погрешностей являются: неправильная градуировка или юстировка средства измерений, неправильная установка начала отсчета и т. д.

Переменные погрешности при повторных измерениях могут принимать различные значения. Если переменная погрешность при повторных измерениях возрастает или убывает, то ее называют *прогрессивной*. Переменная погрешность может изменяться при повторных измерениях периодически или по сложному закону. Причинами возникновения переменной систематической погрешности являются: действие внешних факторов и особенности конструкции средств измерений. Для облегчения усвоения и систематизации рассмотренного выше материала рекомендуется воспользоваться схемой представленной ниже на рис. 6.2.

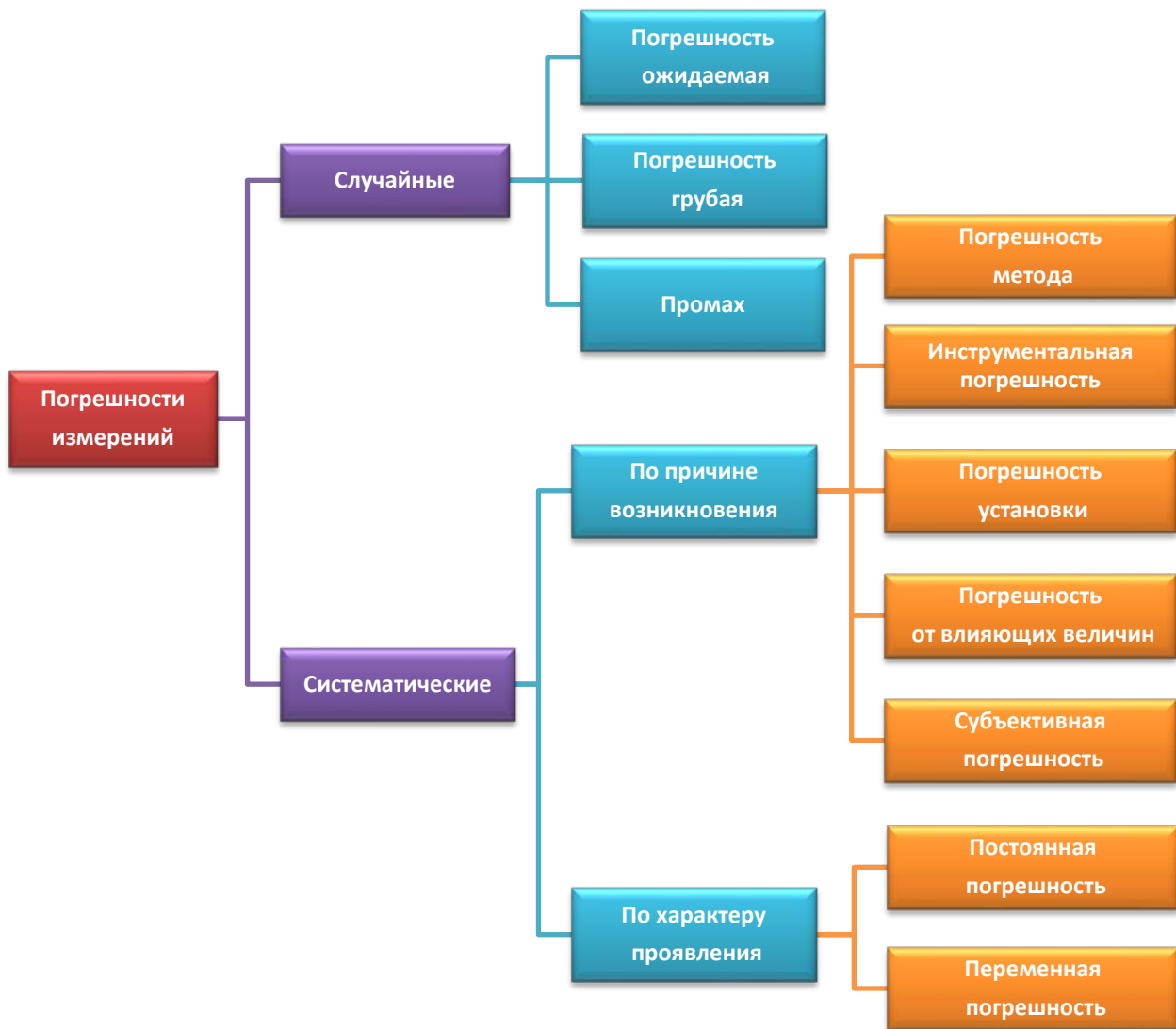


Рис. 6.2. Классификация погрешностей измерений