# Практика №3-4.

# ОДНОКРАТНІ ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ.

# ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВИХ ПОХИБОК.

# РОЗРАХУНОК ПІДСУМКОВОЇ ПОХИБКИ СИСТЕМАТИЧНОГО ХАРАКТЕРА

**Погрешность (измерения) из-за изменений условий измерения –** составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтённого влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерения, от установленного значения. Эту погрешность ещё называют **дополнительной погрешностью от внешних влияющих** (на процесс измерения) **факторов** (величин).

**Влияющими величинами** являются факторы окружающей среды (температура, влажность, давление, вибрация и т.п.), нестабильность пара-метров питания электроприборов, применяемых при измерениях (напряжение и частота в сети), неправильная установка средств измерений, нарушение правил взаимного расположения средств измерений (СИ) в установке и др.

**Нормальные условия измерений** – условия измерений, характеризуемые совокупностью значений или областей значений влияющих величин, принимаемые за номинальные.

Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативно-технических документах или в технических регламентах на средства измерений конкретного вида или при их поверке.

**Нормальная область значений влияющей величины -**  область значе-ний, в пределах которой изменением результата измерений под её воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности. Например, при поверке СИ класса точности 0,05 температура в термостате не должна изменяться более чем на ± 0,5°С от установленной температуры 20°С, т.е. нормальная область значений по температуре находится в диапазоне от 19,5 до 20,5 °С или нормируется как (20 ± 0,5)°С, или так: 20°С ± 0,5°С.

**Нормальное значение влияющей величины -**  значение влияющей величины, установленное в качестве номинального.

При измерении многих величин нормируется нормальное значение температуры 20°С или 293 К (К – Кельвин – единица измерения термодина-мической температуры в Международной системе единиц SI). На нормальное значение обычно рассчитана *основная погрешность* средства измерений, к которому приводятся результаты многих измерений, выполненные в разных условиях.

**Рабочая область значений влияющей величины -**  область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средством измерений.

Например, для амперметра нормируют изменение показаний, вызванное отклонением частоты переменного тока от 50 Гц (в данном случае 50 Гц – нормальное значение частоты). Например, так: (50,0 ± 0,1) Гц.

**Предельные условия измерений** – условия измерений, характеризуемые экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые средство измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

Средство измерения неразрывно связано с результатом прямых измерений, т.к. погрешности результата измерения рассчитывают по его метрологическим характеристикам.

Установление условий применения и нормальных условий являются обязательными для обеспечения единообразия метрологических характеристик средств измерений. Это объясняется тем, что погрешности однотипных СИ, отнесенные к различным внешним условиям применения, должны быть сопо-ставимы между собой.

В большинстве нормативно-технических документов на СИ к нормальным относятся следующие внешние условия:

**-** температура окружающей среды 293 К ± 5 К или 20°С ± 5°С;

- относительная влажность 65 % ± 15 %;

- атмосферное давление 100 кПа ± 4 кПа (750 мм рт. ст. ± 30 мм рт. ст.);

- напряжение питающей электрической сети (для электрических и др. СИ, имеющих электрические цепи) 220,0 В ± 4,4 В частотой 50 Гц;

- частота питающей электрической сети 50,0 Гц ± 0,5 Гц;

- постоянная составляющая напряжённости магнитного поля 400 А/м.

* **Дополнительная погрешность средства измерений** —составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Принято различать дополнительные погрешности по отдельным влияющим величинам: дополнительная температурная погрешность, дополнительная погрешность от изменения атмосферного давления, дополнительная погрешность от смещения начала отсчёта прибора и т.д.

Дополнительные погрешности *учитывают* с помощью **функций влияния** или **коэффициентов влияния** по каждой влияющей величине.

Функция влияния представляет собой зависимость числовых значений (обычно в %), на которые необходимо увеличить значение основной погрешности, от значения отклонения влияющей величины от нормальных условий. Например, функцию влияния температуры указывают как ***n%/10°C,*** а функцию влияния питающего электрического напряжения как ***m%/5%Uпит***, где числа ***n%*** и ***m%*** означают, на сколько процентов нужно увеличить значение основной погрешности измерений при указанном отклонении от нормальных условий внешнего влияющего фактора (температуры и напряжения, соответственно). Если зависимость функции влияния нелинейна, то её представляют в виде графика, формулы или таблицы.

**ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЁТА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ**

**В ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ФОРМЕ**

а) дополнительная температурная погрешность:



б) дополнительная погрешность от изменения атмосферного давления:



в) дополнительная погрешность от изменения влажности среды: 



г) дополнительная погрешность от изменения напряжения питания:



д) дополнительная погрешность от изменения частоты напряжения питания:



е) дополнительная погрешность от изменении напряженности постоянного магнитного поля:

**.**

**Пример 1.** Определить погрешность установки частоты сигнала в точке 1 МГц, выдаваемого высокочастотным генератором сигналов Г4-102, при отклонении температуры воздуха относительно нормальной на ± 10°С.

В техническом описании прибора Г4-102 указано, что погрешность установки частоты не превышает ± 1 %, а дополнительная погрешность установки частоты при изменении температуры на ± 10°С не превышает значения ±(3000 *f*нес + 250) Гц, где *f*нес – значение несущей частоты в МГц.

**Решение**

Определим пределы дополнительной абсолютной погрешности установки частоты:

.

Относительная дополнительная погрешность составляет:

Тогда погрешность установки частоты при изменении температуры на ± 10°С будет ±(1 + 0,325) = ±1,325% ≈ 1,3%.

**Пример 2.** Оценить составляющие погрешности измерения тока в цепи с сопротивлением 200 Ом миллиамперметром класса точности 0,5 на пределе измерения 0,25 мА, если показание равно 0,18 мА. Измерение проведено при температуре окружающего воздуха +26 °С, давлении 107,5 кПа и вблизи токоведущей шины с напряженностью магнитного поля 300 А/м, а миллиамперметр относится к группе А лабораторных приборов. Определить суммарную вероятную погрешность измерения при **Рдов = 0,95**.

**Решение**

Оценим пределы основной абсолютной погрешности измерения силы тока, возникающей при нормальных условиях проведения измерения:



Оценим пределы относительных дополнительных погрешностей (с учетом группы эксплуатации миллиамперметра), вызванных отклонением значений факторов окружающей среды от нормальных значений:

а) при изменении температуры



б) при изменении давления





в) при изменении постоянной составляющей напряженности магнитного поля

**.**

Определим основную относительную погрешность измерения:



Суммарная вероятная относительная погрешность измерения



где  – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности **Рдов (** или уровня значимости **q)**и количества суммируемых составляющих ***i*** погрешности.  определяется из таблицы 1;

**n** – общее количество суммируемых погрешностей.

**Рдов + q = 1 (или 100%,** если вероятности заданы в %).

Таблица 1. Значения коэффициента 

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Количество  суммируемых составляющих | Значение  при **Рдов (q)** | | | |
| **Рдов = 0,90** | **Рдов = 0,95** | **Рдов = 0,99** | **Рдов = 0,9973** |
| 2 | 0,97 | 1,10 | 1,27 | 1,34 |
| 3 | 0,96 | 1,12 | 1,37 | 1,50 |
| 4 | 0,96 | 1,12 | 1,41 | 1,58 |
| 5 | 0,96 | 1,12 | 1,42 | 1,61 |
| 6 | 0,96 | 1,12 | 1,45 | 1,64 |
| >6 | 0,95 | 1,13 | 1,49 | 1,73 |

Определим вероятную относительную погрешность измерения при заданной доверительной вероятности 0,95 и числе суммируемых составляющих **n = 4** (основная и три дополнительных):



Іноді виникає потреба визначити наведену похибку γ результату вимірю-вання при застосуванні засобу вимірювання, для якого нормована відносна похибка c/d. Для цього визначають абсолютні похибки на початку діапазона вимірювання і по всій шкалі діапазона:

1. - абсолютна похибка на початку діапазона вимірю-вання (умовний “0”);
2. - абсолютна похибка у всьому діапа-зоні вимірювання;
3. 100% . Її можна використовувати в формулах додаткових похибок як γкл.

**Приклад 3.**  Універсальним вольтметром класа 0,5/0,25 з діапазоном вимі-рювання від 0 до 30 В отримали значення 19,85 В. Вимірювання проводили в таких умовах: температура оточуючого середовища +15 ºС, вологість повітря 78 %, тиск 102 кПа, напруга живлення 232 В, зміщення початку відліку приладу +0,05 В. Обрахувати сумарну та сумарну вірогідну абсолютні похибки з довір-чою вірогідністю 0,98.

**Рішення**

δ = 0,5/0,25 Аналізуючи значення зовнішніх чинників,

Uнорм = 30 В бачимо, що значення температури дорівнює

Uвим = 19,85 В верхньому значенню робочої області значень,

tоточ серед  = tвим = +15 ºС а значення вологості і тиску - всередені робо-

Ψоточ серед =Ψвим = 78% чої області. Також є похибка систематичного

Роточ серед =Рвим = 102 кПа характеру - зміщення початку відліку, яка та-

Uживл = 232 В кож є додатковою або такою, яку можна усу-

Δ”0” = +0,05 В нути введенням поправки (розв’яжемо задачу

Рдов = 0,98 у двох варіантах). Таким чином складових су-

марної похибки буде чотири: основна похибка

ΔΣ - ?ΔΣвірог - ?і тридодаткових (від температури, напруги

живлення та “нуля”).

**Варіант №1**

1. Визначимо основну відносну похибку результата вимірювання

= ± [0,5% + 0,25% ·0,5113350] = ±0,6278% ≈ ±0,63%

1. Визначимо додаткові похибки у відносній формі

2.1) спочатку знайдемо γкл:

або 2.1.а)

2.1.б)

2.1.в)

2.2) додаткова похибка від температури



2.3) додаткова похибка від напруги живлення вольтметра



2.4) додаткова похибка від зміщення нуля

1. Обрахуємо сумарні відносні похибки:

3.1) максимальну

3.2) вірогідну (Pдов = 0,99 і k = 4)

1. Обрахуємо сумарні похибки в абсолютних значеннях

4.1) Основна абсолютна похибка

4.2) Додаткова абсолютна похибка від температури

4.3) Додаткова абсолютна похибка від напруги живлення

1. Визначимо сумарні значення абсолютних похибок:

5.1) максимальну

5.2) вірогідну

В

Запишемо результати вимірювання: Uвим = 19,85 В ± 0,23 В, δмакс = ±1,16 %

Uвим = 19,85 В ± 0,18 В, δΣвір = ±1,02 %

Зверніть увагу на те, що сумарні вірогідні похибки мають менші значення, ніж сумарні максимальні (як в абсолютних, так і у відносних одиницях).

**Варіант №2: рішення з урахуванням поправки**

Абсолютна похибка від зміщення нуля має систематичний характер, тому її можна обнулити шляхом введення поправки:

С = - Δсист = - Δ”0” = - 0,05 В

Тоді виправлений результат вимірювання буде

Uвипр вим = Uвим + С = 19,85 В + (- 0,05 В) = 19,80 В

Далі потрібно обрахувати всі складові із виправленим значенням напруги.

Основна відносна похибка результату виправленого вимірювання буде

= ... = ± 0,62(87)% ≈ ± 0,63%

Як бачимо, похибка зміщення нуля така мала, що не впливає на значення основної похибки. А саме основна похибка серед інших має найбільше значення. Тож в данному випадку перераховувати значення додаткових похибок немає сенсу.

**Задачі (гр.310,311,312) з практичних занять №3-4.**

**Полякова С.**

Измерение сопротивления номинального значения 1,2 кОм выполнили с помощью одинарного моста постоянного тока класса 1,0/2,0 при температуре +12,8 °С, относительной влажности 84 % и атмосферном давлении 100,5 кПа. Результат измерения составил 1182 Ом.

Определить основную, дополнительные и абсолютную суммарную вероятную погрешность измерения сопротивления (Рдов = 0,95). Относительная погрешность моста определяется по формуле: δ = ± (1 + 2/Rх), %, где Rх – результат измерения в Ом.

**Семеняга І.**

С помощью моста переменного тока получено значение индуктивности катушки Lх = 25,3 мГн. Предел основной относительной погрешности моста не превышает: δ = ± (0,5 + 3/Lх), %, где Lх - измеренное значение, мкГн.

Определить значение наибольшей основной абсолютной погрешности индуктивности, дополнительные погрешности и абсолютную суммарную вероятную погрешность, если измерение проведено при температуре + 35 0С и влажности 38 %. Рдов = 0,90.

**Тригуб А.**

С помощью моста переменного тока класса 0,05/0,2 измерено значение тангенса угла потерь бумажного конденсатора, которое равно tgδх = 0,00083 при температуре +28°С и напряжении питания моста 208 В. Основная максимальная абсолютная погрешность измерения тангенса угла потерь определяется по формуле: Δtgδх = ± (0,051·tgδХ + 0,2·10-4).

Определить значение наибольшей погрешности измерения (суммарные абсолютную и относительную погрешности) tgδх, если значение дополни-тельной температурной погрешности не должно превышать половины значения основной на каждые 10°С, а значение дополнительной погрешности от напряжения питания не должно превышать значения основной на каждые 10%.

**Шуба А.**

Определить основную, дополнительные и суммарную абсолютную погрешности измерения напряжения, если измеренное значение составило 195,4 В на пределе 0…250 В, а класс точности вольтметра 1,5/2,5. Измерение проведено при влажности 85%, температуре + 31 °С, давлении 104 кПа.

**Яблочков І.**

Сопротивление резистора измерено с помощью моста постоянного тока класса 0,05/0,3. Измеренное значение равно 2486,5 Ом. Основная относитель-ная погрешность измерения не превышает значений, определяемых по формуле: δ = ± (0,05 + 0,3/Rх), %, где Rх - измеренное сопротивление в Ом. Измерение проводилось при температуре +17,5 °С и напряженности постоянного магнит-ного поля 450 А/м. Определить основную, дополнительные и абсолютную вероятную погрешность измерения сопротивления Rх (q = 0,05).

**Безпалова С.**

Оценить основную, дополнительные и абсолютную суммарную погрешности результата измерения напряжения. Измерение выполнено с помощью вольтметра класса 0,25/0,05 на пределе 0…10 В, показание 9,425 В. Условия измерения: температура + 14 °С, влажность 60 %, давление 101,0 кПа, напряжение питания сети 234 В, частота в сети 50,2 Гц.

**Гусар А.**

Оценить результат измерения, основную, дополнительные и относительную суммарную вероятную (Рдов = 0,99) погрешности измерения напряжения с помощью вольтметра класса 0,5/1,0 с диапазоном шкалы 0…30 В, если показание прибора – 12,25 В и измерение провели при tокр.ср = + 13 °С, давлении 100,5 кПа, влажности 90 %, напряженности магнитного поля 310 А/м.

**Ковбасюк М.**

С помощью моста переменного тока класса 0,5/3,0 измерена индуктивность катушки, значение которой Lх = 18,3 мГн. Основная погрешность моста опреде-ляется по формуле: δх = ± (0,5 + 3/ Lх), %, где Lх - измеренное значение, мкГн.

Определить значение наиболее вероятной относительной погрешности индуктивности при Рдов = 0,90, если измерения проводились при условиях: температура + 28 °С, влажность 75% и атмосферное давление 95 кПа.

**Шаєнко В.**

Определить составляющие погрешности измерения силы тока, а также суммарную абсолютную и вероятную погрешности (Рдов = 0,90). Применён амперметр класса 1,0/1,5 с пределом измерения 0,5 А. Показание прибора при температуре + 8,5 °С, атмосферном давлении 99 кПа, влажности 75 % и напряжённости магнитного поля 375 А/м составило 0,38 А.

**Інші студенти груп 310, 311, 312.**

С помощью миллиамперметра класса точности 1,5 с диапазоном измерения 0 – 3 А измерена сила тока, значение которого составило 0,8 А. Измерение проводилось при температуре + 30 °С, влажности 50%, давлении 115 кПа вблизи токоведущей шины с напряженностью магнитного поля 280 А/м. Определить значения основной и дополнительных погрешностей измерения тока в абсолютных и относительных значениях, а также абсолютные и относительные значения суммарных и суммарных вероятных погрешностей.