

Лабораторная работа №3. Исследование метрологических характеристик виртуальными СИ

Цель работы: Изучить методику определения метрологических характеристик при измерении напряжения постоянного тока виртуальными СИ. Выполнить исследования и произвести оценку результатов измерений.

Общие сведения

Метрологические характеристики средств измерения

По ГОСТ 8.009-84 основные определения представлены следующим образом.

Средство измерений - средство, предназначенное для измерений, вырабатывающее сигнал (показание), несущее информацию о значении измеряемой величины или воспроизводящее величину заданного размера.

Средства измерений - это меры, компараторы, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные системы.

Инструментальная погрешность средства измерений - составляющая погрешности измерений, обусловленная свойствами средств измерений.

Систематическая составляющая погрешности средств измерений - составляющая погрешности данного экземпляра средства измерений при одном и том же значении измеряемой или воспроизводимой величины и неизменных условиях применения средства измерений, остающаяся постоянной или изменяющаяся настолько медленно, что ее изменениями за время проведения измерений можно пренебречь, или изменяющаяся по определенному закону, если условия изменяются.

Дополнительная погрешность средства измерений - разность (без учета знака) между значением погрешности, соответствующим некоторому заданному значению влияющей величины в пределах рабочих условий применения и значением погрешности, соответствующим нормальному значению влияющей величины.

Основная погрешность средства измерения обусловлена неидеальностью средства измерений, т.е. отличием действительной функции преобразования средства измерений в нормальных условиях от номинальной функции преобразования. Основная и дополнительная погрешности - это статическая погрешность средства измерения.

Динамическая погрешность средства измерений обусловлена реакцией средства измерений на скорость (частоту) изменения входного сигнала.

Обозначения погрешностей средств измерения (СИ)

- Δ - погрешность конкретного экземпляра средства измерений;
- Δ_o - основная погрешность средства измерений;
- Δ_p - предел допускаемой погрешности СИ;
- Δ_{op} - предел основной погрешности СИ;
- Δ_{os} - систематическая составляющая основной погрешности;
- Δ_{osp} - предел систематической составляющей основной погрешности СИ;
- Δ_c - дополнительная погрешность СИ;
- Δ_{ci} - дополнительная погрешность, связанная с i -м значением влияющей величины;
- Δ_{st} - статическая погрешность СИ;
- Δ_{dyn} - динамическая погрешность СИ;
- Δ_{instr} - инструментальная погрешность СИ;
- $\sigma[^\circ]$ - символ среднеквадратического отклонения;
- $\sigma[\Delta]$ - среднеквадратическое отклонение погрешности СИ данного типа;
- $\sigma[\Delta_s]$ - среднеквадратическое отклонение систематической погрешности;
- $\bar{\Delta}'$ - среднее значение погрешности СИ в точке X диапазона измерений, полученная экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра входного сигнала при подходах со стороны меньших значений;
- $\bar{\Delta}''$ - среднее значение погрешности СИ в точке X диапазона измерений, полученная экспериментально при медленных непрерывных изменениях информативного параметра входного сигнала со стороны больших значений;
- $\tilde{\sigma}[\Delta]$ - оценка среднеквадратического отклонения погрешности СИ данного типа;

$\tilde{\sigma}[\Delta_{os}]$ - оценка среднеквадратического отклонения систематической составляющей основной погрешности;

$\dot{\Delta}_o$ - случайная составляющая основной погрешности;

$\dot{\Delta}_{OH}$ - случайная составляющая основной погрешности, вызванной гистерезисом.

Оценка результатов эксперимента

Имеются реализации погрешности Δ'_i (при подходе снизу) и Δ''_j , (при подходе сверху).

1. Определяются центры группирования:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'_i; \quad \bar{\Delta}'' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta''_i \quad (3.1)$$

2. Определяются центрированные реализации в каждой группе:

$$\dot{\Delta}'_i = \Delta'_i - \bar{\Delta}'; \quad \dot{\Delta}''_i = \Delta''_i - \bar{\Delta}''; \quad (3.2)$$

Центрированные реализации считаются принадлежащими к одной генеральной совокупности и обозначаются через $\dot{\Delta}'_i$, где $i = 1, 2, \dots, 2n$.

3. Определяется оценка систематической составляющей основной погрешности:

$$\tilde{\Delta}_{os} = \frac{\bar{\Delta}' + \bar{\Delta}''}{2} \quad (3.3)$$

4. Определяется оценка среднеквадратического значения случайной составляющей основной погрешности:

$$\tilde{\sigma}[\dot{\Delta}_o] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \dot{\Delta}_i^2}{2n-1}} \quad (3.4)$$

5. Определяется оценка вариации \tilde{H}_o

$$\tilde{H}_o = |\bar{\Delta}' - \bar{\Delta}''| \quad (3.5)$$

Оценка метрологического качества при решении метрологических задач

В соответствии с рекомендациями по метрологии Р 50.2.004-2000, которые распространяются в сфере государственного метрологического контроля и надзора на процедуры установления количественного соответствия между физическими объектами и их математическими моделями, на математическое обеспечение, вычислительные и программные средства, установлен принцип определения погрешности неадекватности математической модели объекту измерения. Для этого введено понятие измерительной задачи. Это – задача установления

количественного соответствия между свойствами физического объекта и характеристиками его математической модели. Решение подобных задач особенно целесообразно при выполнении виртуальных измерений с использованием схемы перекрестного наблюдения погрешностей на примере измерения напряжения постоянного тока виртуальными СИ. Объект измерения – делитель напряжения, состоящий из резисторов R1 и R2, подключенных к источнику постоянного напряжения. При этом сопротивлении R1 остается постоянным, а сопротивление R2 изменяется в широком диапазоне.

Определяются значения тока и напряжения расчетным путем и измеряются виртуальными СИ (амперметр, вольтметр). Оценка погрешности результатов измерений производится не только сравнением расчетных и экспериментальных данных, но и определением степени нелинейности выходного напряжения делителя, в зависимости от изменения сопротивления R2. Решение подобной задачи необходимо, т.к. элементы делителей используются в схемах аналого-цифровых преобразователей (источники опорного входного напряжения) и цифроаналоговых преобразователей (управляемые кодом делители), от которых зависят погрешности преобразования.

Построение функции преобразования (математической модели) рассматривается на примере использования «способа средней», который не требует изображения экспериментальных данных и состоит в следующем. Пусть значения экспериментальных данных приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

X	X ₁	X ₂	X ₃	...	X _{n-1}	X _n
Y	Y ₁	Y ₂	Y ₃	...	Y _{n-1}	Y _n

Если между X и Y установлена линейная зависимость $y=ax+b$, экспериментальные значения y_i будут отличны от ax_i+b вследствие наличия ошибок Δ_i :

$$\Delta_i = y_i - ax_i - b \quad (i=1,2,\dots,n)$$

Если выбирать параметры a и b так, чтобы для всех наблюдений $\sum_{i=0}^n \Delta_i = 0$,

то уравнивание происходит не только для всех значений X_i и Y_i но и для каждой группы, содержащей половину всех наблюдений в отдельности.

В таком случае система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m (y_i - ax_i - b) = 0 \\ \sum_{i=m+1}^n (y_i - ax_i - b) = 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

где m – выбирают так, чтобы число наблюдений m в первой группе равнялось числу наблюдений m во второй группе, если n - чётно, и $m \pm 1$, если n - нечётно.

Полученная система для определения коэффициентов a и b имеет вид:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^m x_i + mb = \sum_{i=1}^m y_i \\ a \sum_{i=m+1}^n x_i - (n-m)b = \sum_{i=m+1}^n y_i \end{cases} \quad (3.7)$$

коэффициенты a и b определяются из выражений:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m y_i & m \\ \sum_{i=m+1}^n y_i & (n-m) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m x_i & m \\ \sum_{i=m+1}^n x_i & (n-m) \end{vmatrix}}; \quad b = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=m+1}^n x_i & \sum_{i=m+1}^n y_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^m x_i & m \\ \sum_{i=m+1}^n x_i & (n-m) \end{vmatrix}} \quad (3.8)$$

Таким образом, способ средней дает прямую

$$y = -ax + b \quad (3.9)$$

а погрешность неадекватности математической модели экспериментальным данным определяется выражением:

$$\Delta_i = U_{i(\text{эксн})} - y_{i(\text{модели})} \quad (3.10)$$

Описание лабораторной установки

Для исследования метрологических характеристик при измерении напряжения постоянного тока используется схема модели, приведенная на рис. 3.1, выполненная с использованием элементов пакета Simulink. Схема содержит: источник постоянного напряжения ($U=1,5\text{В}$); резисторы $R1$ и $R2$; виртуальные приборы: амперметр (A) и вольтметр (V).

Оценка систематической и случайной составляющих основной погрешности виртуального вольтметра.

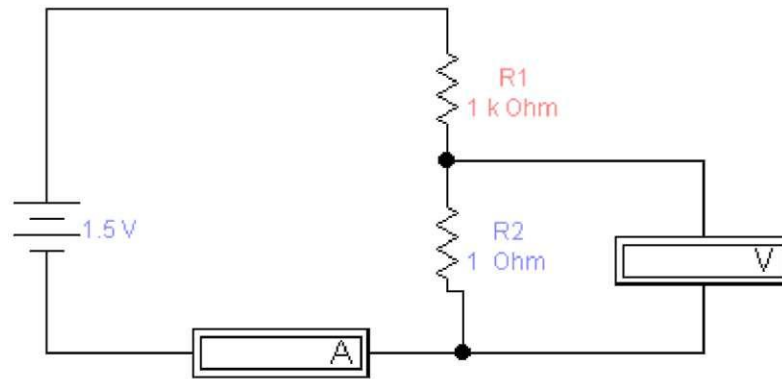


Рис. 3.1. Схема измерения постоянного напряжения

1. В соответствии со схемой на рис. 3.1 последовательно изменяя R2 от 10 до 100 Ом измерить токи $I_{\text{э}}$ и напряжения $U_{\text{э}}$. Всего выполнить n измерений (n=10). Измеренные и расчетные значения $I_{\text{р}}$, $U_{\text{р}}$, $I_{\text{э}}$, $U_{\text{э}}$ записать в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

№ п/п	R ₂ , Ом	R ₁ +R ₂ , Ом	I _р , мА	$U_p = I_p \cdot R_2$, мВ	I _э , мА	U _э , мВ	$\Delta_{li} = U_{ip} - U_{is}$, мВ	$\overset{0}{\Delta}_i$	$\overset{0}{\Delta}_i^2$
1									
2									
...									
10									
					$\sum_{i=1}^{10} I_b =$	$\sum_{i=1}^{10} U_b =$	$\overset{-1}{\Delta}_1 = \sum_{i=1}^{10} \frac{\Delta_{li}}{10}$		$\tilde{\sigma} \left[\overset{0}{\Delta} \right] =$

2. Вычислить $\Delta'_{li} = U_{ip} - U_{is}$ для каждого из n-значений.

3. Определить центр группирования: $\bar{\Delta}'_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta'_{li}$ Значение $\bar{\Delta}'_1 = \Delta_{os}$

4. Определить случайные составляющие погрешности: $\overset{0}{\Delta}_{li} = \Delta'_{li} - \bar{\Delta}'_1$

5. Определить оценку среднеквадратического значения случайной составляющей основной погрешности:

$$\tilde{\sigma} \left[\overset{0}{\Delta}_0 \right] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \overset{0}{\Delta}_{li}^2}{n-1}} .$$

6. Заполнить табл.1.3, для чего выполнить проверку отклонений измеренных значений от линейной зависимости:

$$\Delta_{2i} = U_{(i+1)\text{э}} - U_{i\text{э}}$$

Вычислить среднее значение $\bar{\Delta}_2$ и случайную составляющую погрешности отклонения от линейной зависимости:

$$\Delta_{2i}^0 = \Delta_{2i} - \bar{\Delta}_2.$$

Определить уравнение модели по способу средней:

$$y = -ax + b,$$

и вычислить погрешность неадекватности математической модели экспериментальным данным:

$$\Delta_i = U_{i(\text{эксп})} - y_{i(\text{модели})}.$$

Данные значений занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3.

	$\Delta_{2i}, \text{ мВ}$	$\Delta_{2i}^0 = \Delta_{2i} - \bar{\Delta}_2$	$U_{\text{ср}}$	$\Delta_{3i} = U_{i\text{э}} - y_{\text{ср}}$
1				
2				
·				
·				
·				
10				
	$\bar{\Delta}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} \Delta_{2i}$			

7. По данным табл. 3.2, 3.3 построить зависимости: $U_{ip}=f(I_{ip})$; $U_{i\text{э}}=f(I_{i\text{э}})$, $y = -ax + b$; $\Delta'_{1i}=f(I_{i\text{э}})$, $\Delta_{2i}=f(I_{i\text{э}})$, $\Delta_i=f(I_{i\text{э}})$ и сравнить их между собой.

Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с типовой формой. Кроме того, отчет должен содержать:

- номер и наименование лабораторной работы;
- цель работы;
- схему измерений;
- заполненные таблицы 3.2, 3.3;
- выводы о соотношении составляющих погрешности.