

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

В.С. БАСКАКОВ, А.Л. КОСОВА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ ПРИ
ПРОВЕДЕНИИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Методические указания по выполнению
лабораторной работы №10

Самара
2017

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,
протокол № 34 от 17.02.2017 г.

Рецензент:
д.т.н., проф. Мелентьев В.С.

Баскаков В.С., Косова А.Л.

Определение метрологических характеристик средств измерений и использование их при проведении измерений методические указания по выполнению лабораторной работы/ В.С. Баскаков, А.Л. Косова. – Самара: ПГУТИ, 2017. –13 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный приобретению навыков решения задач касающихся вопросов выбора метода измерений, аппаратуры и схемы измерений; определения погрешности измерений.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем, 11.03.01 Информационная безопасность, 27.03.04 Управление в технических системах , 27.03.05 Инноватика, 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 Информационные системы и технологии и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© Баскаков В.С., 2017

© Косова А.Л., 2017

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Применить полученные знания к самостоятельному решению поставленной измерительной задачи:

- 1) определить требования к точности измерений;
- 2) выбрать метод измерения, аппаратуру и схему измерений;
- 3) выполнить необходимые измерения,
- 4) определить погрешности;
- 5) произвести запись результата измерения.

2. ЛИТЕРАТУРА

2.1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2005

2.2. Метрологическое обеспечение систем передачи: Учебное пособие для вузов/Б.П.Хромой, В.Л.Серебрин, А.Л.Сенявский и др.; Под ред. проф. Б.П.Хромого.-М.:Радио и связь, 1991.

2.3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учебное пособие для вузов / Б. П. Хромого, А. В.Кандипов, А.Л.Сенявский и др.; Под редакцией Б.П.Хромого.-М.:Радио и связь. 1986.

2.4. Фёдоров А.М. и др. Метрологическое обеспечение электронных средств измерений электрических величин: Справочная книга/А.М.Фёдоров, Н.Я.Цыган. В.В.Мичурин.-Л.:Энергоатомиздат. 1988.

2.5. Кушнир В.Ф. Электрорадиоизмерения. Учебное пособие для вузов.Л.: Энергоатомиздат. 1983.

2.6. Методическая разработка к индивидуальным занятиям по дисциплине «Метрология, стандартизация и управление качеством». Ч.1, ПГАТИ

2.7. Методическая разработка к индивидуальным занятиям по дисциплине «Метрология, стандартизация и управление качеством». Ч.2, ПГАТИ

2.8. Новицкий П.В.. Зограф И.А. Оценка погрешности результатов измерений.-Л.:Энергоатомиздат.1985.

2.9. Методические разработки к лабораторным работам №№ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9,11: ПГАТИ.

3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Ознакомиться с перечнем задач раздела 7 данной разработки.

3.2. Повторить разделы рекомендуемой литературы, относящейся к поставленной преподавателем измерительной задаче.

3.3. Заготовить бланк отчёта к лабораторной работе, в котором сформулировать цель работы, привести структурные схемы измерений, перечень используемых приборов, описать метод (методы) измерений, методику измерений, начертить необходимые таблицы.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Как определяются абсолютная, относительная, приведённая погрешности и класс точности измерительного прибора?

4.2. Как определяются точечные и интервальные оценки измерений?

4.3. Форма записи результатов измерений при однократных и многократных измерениях?

4.4. Как производится обработка результатов эксперимента при однократном измерении?

4.5. Как производится обработка результатов эксперимента при многократных измерениях?

4.6. Как производится обработка результатов эксперимента при косвенном измерении?

4.7. Основные осциллографические методы источники погрешностей измерения?

4.8. Осциллографический метод измерения амплитуды сигнала; источники погрешностей измерения?

4.9. Основные осциллографические методы измерения фазового сдвига, источники погрешностей измерения?

4.10. Основные измеряемые параметры переменного напряжения?

4.11. Какова роль коэффициентов амплитуды и формы при нахождении показаний вольтметра?

4.12. Назовите основные источники погрешностей, возникающих при измерении переменных напряжений аналоговыми и цифровыми вольтметрами?

4.13. Как производится поверка класса точности вольтметра?

4.14. Принцип действия электронно-счётным частотомера частоты, периода и отношении частот?

4.15. Оценка погрешности измерений электронно-счётным частотомером частоты, периода и отношения частот?

4.16. Основные нормируемые параметры измерительных генераторов?

4.17. Как производится поверка класса точности измерительных генераторов по напряжению и частоте?

5. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

- 5.1. Разработка методики измерений (Выполняется при подготовке к работе)
- 5.2. Проведение измерений по разработанной методике.
- 5.3. Обработка результатов измерений с обязательным определением погрешностей измерения, согласно приложению 1.
- 5.4. Составление отчёта.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать:

- титульный лист с указанием кафедры, наименования работы, Ф.И.О. студента, номера учебной группы;
- цель работы (поставленную измерительную задачу);
- схемы измерений с обозначением используемых измерительных приборов;
- краткое описание метода и методики проведения измерения;
- таблицы результатов проведённого эксперимента;
- результаты обработки экспериментальных данных с приведением всех используемых формул;
- выводы;
- подпись и дату выполнения работы.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ (может корректироваться преподавателем)

7.1. Определить неизвестную частоту (№ риски задаётся), используя два основных режима работы осциллографа. Произвести запись результатов измерения. За образцовое значение принимается показание цифрового частотомера.

7.2. Произвести проверку класса точности аналогового вольтметра (тип вольтметра задаётся) на заданном пределе и частоте. Дополнительно, в заданной точке определить параметры (период T и максимальное значение U_m) входного сигнала вольтметра. Произвести запись результатов измерения.

7.3. Произвести проверку класса точности НЧ генератора по напряжению и частоте на заданных поддиапазоне частот и пределе вольтметра. Дополнительно, определить параметры входного сигнала (период T и максимальное значение U_m) в заданной точке шкалы осциллографическим методом. Произвести запись результата измерения.

7.4. Экспериментально определить коэффициент формы (амплитуды) при заданных типе сигнала и выходных параметрах

генератора ($U; f$). Произвести запись результата измерения, считая известными метрологические характеристики применённых приборов.

7.5. Измерить сопротивление резистора и напряжение на нём. Считая известным класс точности универсального цифрового вольтметра, произвести запись результатов измерения сопротивления, напряжения и тока через резистор.

7.6. Измерить двумя способами один из заданных параметров напряжения: максимальное, среднеквадратическое, средневыпрямленное значение сигнала

при заданной его форме и выходных параметрах генератора ($U; f$). Произвести запись результатов измерений, считая известными и метрологические характеристики применённых приборов.

7.7. Произвести калибровку шкалы частот ВЧ генератора на заданном поддиапазоне. Определить кратковременную нестабильность частоты и её среднеквадратическое отклонение в заданной точке. Произвести запись результата измерения.

7.8. Измерить параметры сигналов различной формы: а) синусоидальной; б) прямоугольной; в) треугольной; г) пилообразной. (Вид сигнала и его параметры, подлежащие определению, задаются преподавателем). Произвести запись результата измерения.

7.9. С помощью универсального вольтметра типа В7- методом амперметра и вольтметра определить мощность, выделенную на резисторе, если на него подано напряжение $U = (B)$ (задаётся преподавателем). Произвести запись результата измерения.

7.10. Определить показание и отклик напряжения для указанного типа вольтметра. (Тип вольтметра и характеристики входного сигнала задаются преподавателем). Произвести запись результата измерения, считая известными метрологические характеристики применённых приборов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОЦЕНКА ВЫБОРА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность результата прямого однократного измерения определяется как погрешность используемых средств измерений $\Delta_{СИ}$ так и случайной погрешностью объекта измерения (Δ). обусловленной его нестабильностью и при их независимости равна

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{СИ}}^2 + (\dot{\Delta})^2}$$

При решении задачи оценки выбора средств измерений необходимо знать соотношение между ними. При этом возможны три случая.

1. Погрешность средства измерения существенно меньше погрешности из-за нестабильности объекта измерения т.е. $\Delta_{\text{СИ}} \ll \dot{\Delta}$. Это обычно имеет место при стремлении экспериментатора использовать как можно более точную аппаратуру без предварительной оценки требуемой погрешности средств измерений, например, при измерении несущей частоты амплитудно-модулированного сигнала цифровым частотомером. Считаем, что неравенство справедливо, если погрешности отличаются в три и более раз, то есть

$$\Delta_{\text{СИ}} \leq \dot{\Delta} / 3$$

Тогда погрешность результата измерения (Δ) определяется нестабильностью объекта измерения $(\dot{\Delta})$ и не зависит от точности выбранных средств измерений.

Таким образом, если

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{СИ}}^2 + (\dot{\Delta})^2} \geq \sqrt{10\Delta_{\text{СИ}}^2} = 3,2\Delta_{\text{СИ}}$$

то условие $\Delta_{\text{СИ}} \leq \dot{\Delta} / 3$ выполняется. Точность измерения в этом

случае может быть повышена проведением многократных измерений при их последующей статистической обработке.

2. Погрешность средства измерения существенно больше погрешности из-за нестабильности объекта измерения, т.е. $\Delta_{\text{СИ}} \gg \dot{\Delta}$

Этот случай обычно имеет место при измерении на границе чувствительности средств измерений, например, при измерении низких частот, скажем, частоты 10 Гц на пределе измерения 0,1 секунды.

Погрешность результата измерения (Δ) в данном случае определяется погрешностью средства измерения, т.е. $\Delta \approx \Delta_{\text{СИ}}$.

Таким образом, $\Delta_{\text{СИ}} > 3\dot{\Delta}$ если то

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\text{СИ}}^2 + (\dot{\Delta})^2} \leq \sqrt{4\Delta_{\text{СИ}}^2/3} = 1,15\Delta_{\text{СИ}}$$

Погрешность измерения в этом случае может быть уменьшена лишь выбором более точных средств измерений.

3. Погрешность средства измерения соизмерима с погрешностью из-за нестабильности объекта измерений, т.е. $\Delta_{\text{СИ}} \approx \dot{\Delta}$. или численно

$$\Delta_{\text{СИ}} \in (\dot{\Delta}/3; 3\dot{\Delta})$$

Этот случай имеет место, например, при измерении цифровым частотомером отношением двух близких частот.

Погрешность результата измерения будет в этом случае определяться соотношением $\Delta \approx 1,4\dot{\Delta}$.

Таким образом, если погрешность измерения находится в пределах $1,15\Delta_{\text{СИ}} < \Delta < 3,2\Delta_{\text{СИ}}$, то должно выполняться условие

$$\Delta_{\text{СИ}} \in (\dot{\Delta}/3; 3\dot{\Delta})$$

Погрешность измерения в этом случае может быть уменьшена как проведением многократных измерений с их последующей статистической обработкой, так и выбором более точных средств измерений.

На основании изложенного оценку выбора средств измерений необходимо проводить по следующему алгоритму:

1) по известному классу точности рассчитать погрешность средств измерений ($\Delta_{\text{си}}$):

2) по экспериментальным данным определить максимальную абсолютную погрешность измерения (Δ_{max});

3) сравнением погрешностей $\Delta_{\text{си}}$ и Δ_{max} численно оценить соотношение между ними,

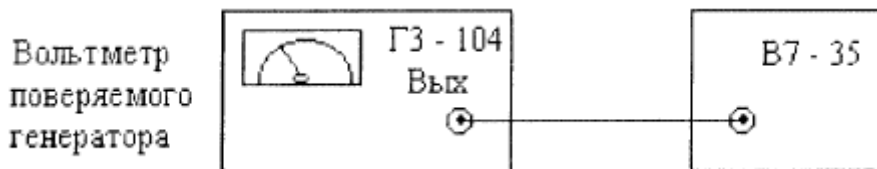
4) по соотношению погрешностей $\Delta_{\text{си}}$ и Δ_{max} определить, к какому из трёх случаев относятся проведённые измерения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИМЕР 1. Провести градуировку шкалы по напряжению и определить класс точности низкочастотного генератора ГЗ-104 на частоте 1 кГц и пределе измерения 3 В, имеющего по паспорту класс точности U4,0.

Поверяемым прибором является аналоговый вольтметр с классом точности U4,0 = 4%.

В качестве источника сигнала используется заданный НЧ генератор, в качестве образцового прибора выбираем цифровой вольтметр В7 - 35 с классом точности 0,05/0,02. Структурная схема для проведения измерений имеет вид:



Для проверки градуировки шкалы генератора по напряжению необходимо:

1) проверить установку нуля на проверяемом вольтметре;

2) установить на генераторе частоту сигнала 1 кГц на заданном пределе ($U_{\text{пр}} = 3 \text{ В}$);

3) поочередно установить на выходе генератора значения напряжений, соответствующие всем оцифрованным точкам шкалы на пределе 3В., снимая одновременно показания с цифрового вольтметра;

4) данные результата эксперимента занести в табл. 1.

Таблица 1.

U _{изм.} (В)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
U _{о.} (В)	0,05	0,52	0,97	1,54	2,07	2,46	3,08
Абсолютная погрешность Δ , (В)	0,05	0,02	0,03	0,04	0,07	0,04	0,08
Приведенная погрешность γ , %	1,67	0,67	1	1,33	2,33	1,33	2,67

где, U_{изм} – показания вольтметра генератора ГЗ - 104

U_о - показания образцового вольтметра (например В7 - 35)

5) Рассчитать абсолютные $\Delta = U_{изм} - U_о$ и приведенные $\gamma = (\Delta / U_{пр}) 100\%$

погрешности, данные занести в таблицу 1.

6) определит значение класса точности в соответствии с соотношением $P \geq \gamma_{max}$ и рядом, задающим класс точности (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6) 10^n , где n = +1; 0; -1; -2 и т. д.

Из таблицы $\gamma_{max} = 2.67\%$, поэтому согласно п.6 задаваемый класс точности $P = 3\%$;

7) из сравнения полученного значения класса точности $P = 3\%$ с нормальным значением $P = 4\%$, можно сделать вывод о его соответствии на пределе 3 В паспортным данным;

8) анализ проведённого измерения.

Из данных (табл. 1) максимальная абсолютная погрешность $\Delta_{max} = 0.08$ В.

Абсолютная погрешность образцового цифрового вольтметра равна:

$$\Delta_{\text{си}} = \delta - \frac{U_{\text{изм}}}{100} \approx \frac{U_0}{100} \left[c + d \left(\frac{U_{\text{пр}}}{U_0} - 1 \right) \right] = \frac{cU_0 + d(U_{\text{пр}} - U_0)}{100} \\ = \frac{0,05U_0 + 0,02(U_{\text{пр}} - U_0)}{100} =$$

что определяет величину максимальной погрешности:

$$(\Delta_{\text{си}}) = \frac{cU_{\text{пр}}}{100} = \frac{0,05 \cdot 3}{100} = 0,0015 \text{ (В)}$$

Значения данных погрешностей согласно приложению 1 соответствует, неравенству $\Delta_{\text{max}} \gg 3,2\Delta_{\text{си}}$, т.к. $0,08 \gg 0,0048$.

Точность измерения в этом случае определяется нестабильностью объекта измерения (низкочастотным генератором ГЗ - 104).

ПРИМЕР 2. Методом амперметра и вольтметра определить величину мощности, выделенной на сопротивлении нагрузки с относительной погрешностью $\delta \leq 1,0\%$. Методической погрешностью пренебречь. В качестве измерителя напряжения и тока выбираем универсальный цифровой вольтметр В7-38. имеющий на постоянном токе относительные погрешности соответственно

$$\delta_U = |0,07 + 0,02(U_{\text{пр}}/U_x)| \\ \delta_I = |0,25 + 0,02(I_{\text{пр}}/I_x)|$$

где $U_{\text{пр}}$, U_x - предел шкалы и величина измеренного напряжения:

$I_{\text{пр}}$, I_x - предел шкалы и величина измеренного тока.

Функциональная связь значения мощности с измеряемыми параметрами определяется известным соотношением $P = UI$, т.е. применяется косвенный способ измерения мощности. Следовательно, погрешность измерения определится как:

$$\delta_{\text{си}} = \frac{\Delta P}{P} = \left(\frac{1}{P} \right) \left[\frac{\partial P}{\partial U} \cdot \Delta U + \frac{\partial P}{\partial I} \cdot \Delta I \right] = \left(\frac{1}{U} \cdot I \right) \cdot [I\Delta U + U\Delta I] = \delta_U + \delta_I$$

Учитывая, что у вольтметра В7 - 38 переключение пределов осуществляется автоматически ($U_x > 0,3U_{\text{пр}}$; $I_x > 0,3 I_{\text{пр}}$) в качестве оценки сверху погрешности δ_U и δ_I могут быть приняты величины

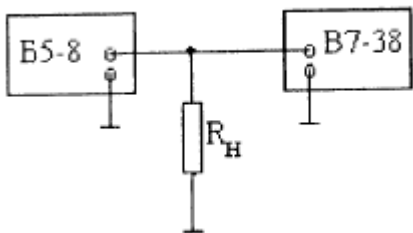
$(\delta_{U_{max}}) = 0,14\%$, $(\delta_{I_{max}}) = 0,32\%$, соответствующее значение $U_x = 0,3U_{пр}$;

$I_x = 0,3I_{пр}$.

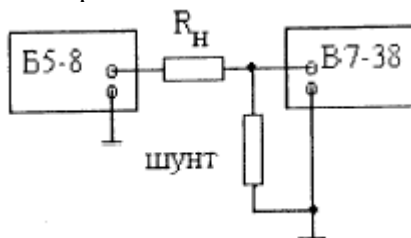
Таким образом, оценка сверху погрешности измерения мощности может быть записана в виде $(\delta_{U_m}) + (\delta_{I_m}) = 0,14 + 0,32 = 0,46\%$.

На первом этапе, без учёта нестабильности объекта измерения, делаем вывод о том, что выбранный прибор удовлетворяет условию по обеспечению необходимой точности измерений.

Определим погрешности, полученные при экспериментальном измерении мощности. Структурные схемы измерений имеют вид



Режим измерения напряжения



Режим измерения тока

1. В соответствии с заданием преподавателя устанавливаем напряжение на выходе стабилизированного источника питания Б5 - 8 $U_x =$ (в нашем случае $U = 8,0$ В).

2. Производим 3-х кратные измерения напряжения и тока через нагрузку. (3-х кратное - минимальное число опытов, из которых можно оценить характер разброса показаний проведённых измерений).

3. Производим определение мощности в каждом опыте, расчёт её среднего значения и определение максимальной погрешности в данном опыте измерения мощности.

$$P_i = U_i I_i \quad P_{cp} = (1/3) \sum_{i=7}^3 P_i$$

$$\Delta P_{max} = |P_{cp} - P_i|_{max}$$

Данные измерений и расчётов сведём в табл. 2

№ опыта	Напряжение на резисторе $U_i, В$	Ток через резистор $I_i, А \cdot 10^{-3}$	Выделенная мощность $P_i, Вт \cdot 10^{-3}$	Абсолютная погрешность $\Delta P_i, Вт \cdot 10^{-3}$
1	8,08	8,26	66,74	-0,01
2	8,05	8,23	66,25	-0,50
3	8,11	8,29	67,25	0,50

Производя вычисления согласно данным табл.2, получим

$$P_{cp} = 66675 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}, \quad \Delta P_{max} = 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}.$$

Относительная погрешность измерения мощности с учетом нестабильности источника питания определяется из экспериментальных данных как

$$\delta_3 = \left(\frac{\Delta P_m}{P_{cp}} \right) \cdot 100 = 0,75\%,$$

что удовлетворяет условию задачи.

Определим соотношение погрешности $\Delta_{си}$ и погрешности измерения $\Delta = \Delta P_{max}$. При расчёте относительных погрешностей измерения δ_u и δ_I нетрудно убедиться, что в данном эксперименте они инвариантны к номеру опыта и равны $\delta_u = 0,095\%$, $\delta_I = 0,274\%$.

Отсюда $(\delta)_{си} = \delta_u + \delta_I = 0,369\% = 0,37\%$.

Таким образом, абсолютная погрешность средства измерения может быть определена как

$$\Delta_{си} = \delta_{си}(P_{сг}/100) = 0,247 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}.$$

Производя сравнение погрешностей $\Delta_{си}$ и ΔP_m , получаем неравенство:

$$1,15\Delta_{си} < \Delta = \Delta P_m < 3,2\Delta_{си} \\ 0,284 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} < \Delta = 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} < 0,790 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Т.е. имеем 3-ий случай. При необходимости погрешность измерения мощности может быть уменьшена как проведением многократных измерений с последующей статической обработкой их результатов, так и выбором более точных средств измерения.

В данном примере относительная погрешность в каждом i -том измерении составляет $(\delta_{си}) = 0,37\%$. Однако погрешность определения мощности с учётом нестабильности источника напряжения или, иными словами, погрешность определения выделяемой мощности на резисторе определится как

$$\delta = \sqrt{(\delta_{\text{сн}})^2 + (\delta_{\text{э}})^2} = \sqrt{(0,37)^2 + (0,75)^2} \approx 0,84\% < 1,0\%$$
$$\Delta = \frac{\delta \cdot P_{\text{ср}}}{100} = 0,56 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$

Результат измерения запишется в виде

$$P = (66,8 \pm 0,6) \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$$