



**В. М. Машков**  
**С. П. Санников**

**ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ  
ЭЛЕКТРОННЫМИ ВОЛЬТМЕТРАМИ**

Екатеринбург  
2012

Электронный архив УГЛТУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автоматизации производственных процессов

**В. М. Машков**  
**С. П. Санников**

# **ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОННЫМИ ВОЛЬТМЕТРАМИ**

Методические указания к лабораторной работе  
для студентов специальности 2202 и 2203  
очной и заочной форм обучения по дисциплине  
«Технические измерения и приборы ЛПК»

Екатеринбург  
2012

# Электронный архив УГЛТУ

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методической комиссией факультета МТД. Протокол № 1 от 08.09.10.

Рецензент – В. Я. Тойбич, доцент кафедры АПП

Редактор Е. Л. Михайлова  
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упова

---

Подписано в печать 22.05.12		Формат 60 × 84 1/16
Плоская печать	Заказ №	Тираж 50 экз.
Поз. 16	Печ. л. 0,70	Цена 4 руб. 28 коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### «ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОННЫМИ ВОЛЬТМЕТРАМИ»

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

##### 1.1. Изучить:

- параметры переменных напряжений и токов и методы их измерения;
- принцип действия, устройство электронных вольтметров и их метрологические характеристики;
- особенности измерения параметров переменного напряжения электронными вольтметрами разного типа;
- источники погрешности при измерении электронными вольтметрами.

##### 1.2. Получить навыки работы с электронными вольтметрами.

##### 1.3. Приобрести навыки обработки результатов измерения напряжения.

#### 2. ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

2.1. Изучение основных метрологических характеристик заданных электронных вольтметров.

##### 2.2. Измерение параметров напряжения сигнала произвольной формы:

- среднеквадратичного значения;
- средневыпрямленного значения;
- пикового значения.

2.3. Измерение значения коэффициентов амплитуды, формы, усреднения сигналов различной формы.

2.4. Измерение среднего значения напряжения электрического сигнала с помощью пикового вольтметра.

2.5. Экспериментальное определение зависимости систематической составляющей погрешности измерения, вызванной шунтирующим действием вольтметра на объект, от величины внутреннего сопротивления объекта измерения в области низких частот.

2.6. Разработка и реализация методики измерения входного сопротивления вольтметра на низких частотах.

2.7. Разработка методики и исследование зависимости погрешности измерения напряжения от частоты в области высоких частот.

2.8. Разработка методики и исследование зависимости погрешности измерения напряжения от длины соединительных шнуров в области высоких частот.

Программой минимум является выполнение пунктов 3.1. – 3.5. Студенты, выполнившие самостоятельно все пункты задания и правильно оформившие отчет, освобождаются от защиты работы.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Основное оборудование.

3.1. Аналоговые вольтметры переменного тока:

- средневыпрямленного значения;
- амплитудного значения;
- среднеквадратичного значения.

3.2. Цифровые вольтметры переменного тока. Вспомогательные приборы.

3.3. Генератор сигналов специальной формы.

3.4. Генератор измерительных сигналов низкочастотный.

3.5. Генератор измерительных сигналов высокочастотный.

3.6. Электронно-лучевой осциллограф.

## 4. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

4.1. Изучите материал по теме «Измерение напряжения».

4.2. Подготовьтесь к коллоквиуму по следующим вопросам:

– определение параметров переменного напряжения (постоянная составляющая, средневыпрямленное, действующее напряжение, пиковое напряжение);

– типы аналоговых вольтметров, их назначение и принцип действия;

– правила градуировки аналоговых вольтметров и порядок расчета измеряемого напряжения;

– назначение элементов функциональной схемы электронных вольтметров, основные органы управления прибора;

– особенности измерения импульсных напряжений;

– источники погрешности измерения в аналоговых вольтметрах, оценка погрешности измерения;

– принцип измерения напряжения цифровым вольтметром с время-импульсным преобразованием. Достоинства цифровых вольтметров.

4.3. Подготовьте отчет, разработайте схемы измерения, приведите формулы, необходимые для обработки результатов измерений.

4.4. Решите измерительные задачи, приведенные ниже. Вариант задания определяется последней цифрой номера студенческого билета.

4.4.1. Задача. Определите напряжение, измеренное заданным вольтметром, в соответствии с заданием, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_v, В$	12	22	1,8	7,5	27	14	0,7	2,1	8,5	2,3
$K V$	1,5	0,5	1,0	2,5	4,0	1,5	0,5	2,5	1,0	4,0
$U_{hom}, В$	15	30	2,5	10	30	15	1,0	2,5	10	30
Тип вольтметра	Квадратичный			Линейный				Пиковый		

4.4.2 Задача. Определите ЭДС источника, абсолютную и относительную погрешности измерения, выполненного в соответствии со схемой на рис.1. Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_v, \text{Мом}$	1,0	1,5	2,5	0,5	1,0	0,8	1,5	0,5	2,0	0,7
$R_{ист}, \text{Ом}$	300	800	600	75	135	600	300	135	800	75
$U_v, \text{В}$	4,0	6,5	7,0	1,5	1,0	2,5	4,0	2,0	10,0	5,0

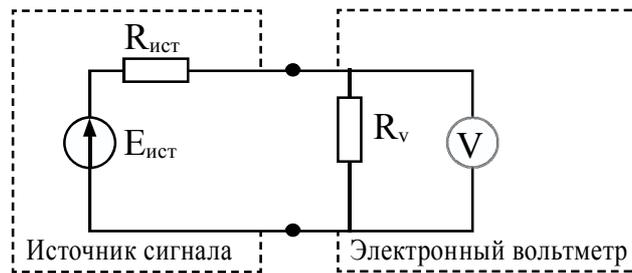


Рис. 1. Схема измерения к задаче 4.4.2

4.4.3. Задача. Определите показание вольтметра и погрешность измерения напряжения заданного электрического сигнала. Метрологические характеристики и параметры сигнала приведены в табл. 3.

Таблица 3

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Форма сигнала	Гармонический									
$U_m, \text{В}$		7,5	0,15	0,8 1	3,8	18,0	0,6	1,3	2,1	0,4
$U_{ном}, \text{В}$		10	0,3	1,0	5,0	30,0	0,1	2,0	3,0	0,5
Класс точности		0,5	1,0	4,0	0,2	1,5	1,0	2,5	0,5	4,0
Вид входа	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	закр	откр	акр
Тип вольтметра	Линейный			Пиковый			Квадратичный			

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

5.1. Изучите метрологические характеристики указанных вольтметров и занесите их в табл. 4.

Таблица 4

Метрологические характеристики	Линейный вольтметр	Пиковый вольтметр	Квадратичный вольтметр	Цифровой вольтметр
Тип(марка) прибора				
Пределы измерения				
Рабочий диапазон частот				
Градуировка шкалы				
Вид входа				
Входное сопротивление				
Класс точности				
Условия эксплуатации				

5.2. Используя генератор сигналов специальной формы и вольтметры с различными типами преобразователей, выполните измерение каждого из интегральных параметров напряжения сигнала произвольной формы.

Результаты измерения и их обработки занесите в табл. 5.

Таблица 5

Измеряемый параметр	Тип(марка) прибора	Тип вольтметра	Градуировка шкалы	Коэффициент градуировки	Показание вольтметра	Значение измеряемого напряжения	Погрешность измерения напряжения
$U_m$							
$U_{ср.В}$							
$U$							

Оцените погрешность измерения напряжения, используя метрологические характеристики вольтметров. Приведите расчет измеряемого напряжения и погрешности его измерения.

Результаты измерения основных интегральных параметров исследуемого напряжения запишите в стандартной форме согласно требованиям МИ 1317-86.

$$U_m =$$

$$U_{ср.В} =$$

$$U =$$

5.3 Выполните измерение коэффициентов  $K_a$ ,  $K_f$ , и  $K_y$  косвенным методом, используя пиковый  $V1$ , линейный  $V2$  и квадратичный  $V3$  вольтметры и определение коэффициентов:

$$K_a = U_m/U;$$

$$K_f = U/U_{\text{ср.в.}};$$

$$K_y = U_m/U_{\text{ср.В.}}$$

Схема измерения приведена на рис. 2.

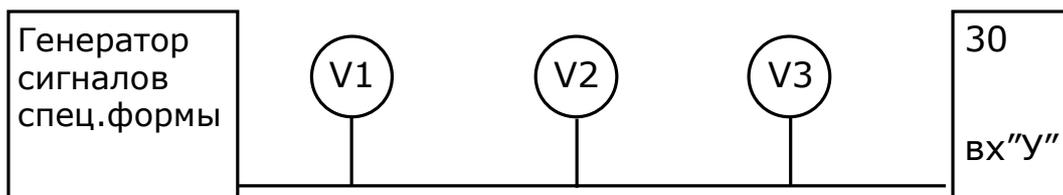


Рис. 2. Схема измерения коэффициентов амплитуды, формы и усреднения

Результаты измерения параметров сигналов разной формы запишите в табл. 6 и 7.

Таблица 6

Форма сигнала	Пиковый вольтметр			Линейный вольтметр			Квадратичный вольтметр		
	$U_{\text{пв}}, \text{В}$	$U_m, \text{В}$	$\Delta U, \text{В}$	$U_{\text{лв}}, \text{В}$	$U_{\text{ср.в}}, \text{В}$	$\Delta U, \text{В}$	$U_{\text{кв}}, \text{В}$	$U, \text{В}$	$\Delta U, \text{В}$

Таблица 7

Форма сигнала	$K_a$	$\Delta K_a$	$\delta K_a \%$	$K_f$	$\Delta K_f$	$\delta K_f \%$	$K_y$	$\Delta K_y$	$\delta K_y \%$

Оценку погрешности измерения коэффициентов  $K_a$ ,  $K_f$  и  $K_y$  выполните по методике оценки погрешности косвенных измерений.

Приведите вывод формул для расчета погрешности измерения  $\delta K_a \%$ ,  $\delta K_f \%$  и  $\delta K_y \%$ .

Результаты измерения основных интегральных параметров исследуемого напряжения запишите в стандартной форме согласно требованиям МИ 1317-86.

$$K_a =$$

$$K_{\phi} =$$

$$K_u =$$

5.4 Измерьте среднее значение напряжения электрического сигнала, используя пиковый вольтметр с открытым и закрытым входами.

Показания пикового вольтметра с открытым и закрытым входами определяются выражениями:

$$U_{пв.о} = U_m C_n;$$

$U_{пв.з} = (U_m - U_{cp}) C_n$ , где  $C_n$  – коэффициент градуировки пикового вольтметра.

$$\text{Следовательно, } U_{cp} = (U_{пв.о} - U_{пв.з}) / C_n.$$

Разработайте схему измерения  $U_{cp}$ , учитывая отсутствие у вольтметра закрытого входа и необходимость контроля формы сигнала осциллографом.

Проведите измерение однополярных импульсов с различной скважностью.

Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 8.

Таблица 8

Форма сигнала	$U_{пв.з}$ , В	$\Delta U_{пв.з}$ , В	$U_{пв.о}$ , В	$\Delta U_{пв.о}$ , В	Коэфф. градуир.	$U_{cp}$ , В	$\Delta U_{cp}$ , В	$\delta U_{cp}$ , %

Приведите вывод формул для расчета погрешности измерения  $\delta U_{cp}$  %.

Результаты измерения запишите в стандартной форме согласно требованиям МИ 1317-86:

$$U_{cp} =$$

5.5 Проведите исследование погрешности измерения, вызванной шунтирующим действием вольтметра. Входное сопротивление прибора имеет комплексный характер, но на низких частотах емкостной составляющей входного сопротивления можно пренебречь.

Исследуйте зависимость погрешности измерения напряжения от сопротивления источника сигнала.

Источник электрического сигнала с известными параметрами  $U_{ист.}$ ,  $R_{ист.}$  и  $R_{ист.}$  можно эквивалентно заменить измерительным генератором с установленными параметрами  $U_{иг} = U_{ист.}$  и  $r_{иг} = r_{ист.}$  Внутреннее сопротивление источника эквивалентно представлено магазином сопротивления

с установленным сопротивлением  $R_{M3} = R_{ист}$ . Схема измерения представлена на рис. 3. Изменяя сопротивление магазина сопротивлений, можно изменять внутреннее сопротивление источника сигнала.

При  $R_{ист} = 0$  сопротивление вольтметра значительно превышает сопротивление источника и шунтирующим действием можно пренебречь. Если сопротивление источника становится соизмеримым с сопротивлением вольтметра, падения напряжения на внутренних сопротивлениях источника и вольтметра также становятся соизмеримыми и шунтирующий эффект усиливается.

Если принять показания вольтметра при  $R_{ист} = 0$  за действительное значение, то абсолютная систематическая погрешность измерения напряжения, вызванная шунтирующим действием вольтметра, определяется выражением

$$\Delta U = U_v(R_{ист}) - U_v(0).$$

Измерение выполните при частоте источника 1000 Гц. Достоверность измерения будет максимальной, если при  $R_{ист} = 0$  установить показание вольтметра, близкое конечному значению шкалы вольтметра.

Результаты измерения занесите в табл. 9.

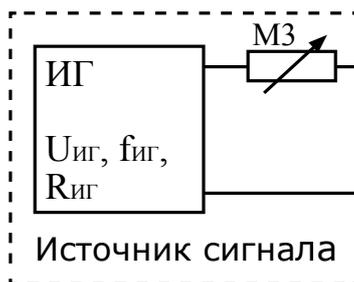


Рис. 3. Схема установки систематической погрешности измерения, вызванной шунтирующим действием вольтметра

Таблица 9

$R_{ист},$ кОм	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_v, В$										
$\Delta U, В$										
$\delta U, \%$										

$R_v = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МОм}$

По результатам исследования постройте график зависимости  $\Delta U = f(R_{ист})$  и сформулируйте вывод.

5.6. Выполните измерение входного сопротивления вольтметра в области низких частот.

5.6.1. Разработайте методику и схему измерения, используя указанные в п. 4 приборы и магазин сопротивлений.

5.6.2. Разработайте таблицу для записи результатов.

5.6.3. Проведите эксперимент по измерению входных сопротивлений различных вольтметров.

5.6.4. Оцените погрешность измерения.

5.6.5. Сравните полученные результаты с паспортными данными вольтметров, сделайте вывод.

5.7. Проведите исследование зависимости погрешности измерения напряжения от частоты.

5.7.1. Выберите наименее широкополосный вольтметр в качестве испытуемого, в качестве образцового – наиболее широкополосный.

5.7.2. Разработайте схему измерения частотной погрешности испытуемого вольтметра путем сравнения его показаний с показаниями образцового вольтметра.

5.7.3. Разработайте таблицу для записи результатов измерения и оценки частотной характеристики погрешности измерения испытуемого вольтметра.

5.7.4. Проведите эксперимент на 7 – 10 частотах в рабочем диапазоне частот испытуемого вольтметра и на 4 – 6 частотах за его пределами.

5.7.5. Постройте график зависимости  $5\% = \varphi(\gamma)$ .

5.7.6. Сделайте вывод, указав причины частотных погрешностей в электронных вольтметрах.

5.8. Проведите исследование зависимости погрешности измерения напряжения от длины проводников на высоких частотах.

5.8.1. На высоких частотах на показания вольтметров существенно влияет емкость и индуктивность входной цепи вольтметра, в состав которой входят емкость и индуктивность соединительных проводников.

Разработайте методику исследования зависимости погрешности измерения от длины соединительных проводников для самого высокочастотного вольтметра.

5.8.2. Разработайте схему эксперимента и таблицу для записи результатов.

5.8.3. Проведите эксперимент при минимально возможной длине проводников и при длине 1–2 м в широком диапазоне частот.

5.8.4. Обработайте результаты измерения и сделайте вывод.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Отчет оформляется каждым членом бригады.

6.2. Отчет должен содержать домашнее задание, заполненные таблицы, схемы измерений, выводы используемых формул и результаты измерений в соответствии с п. 5 данной работы.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах [Текст] / под ред. проф. В. И. Нефедова. М.: Высш. шк., 2001.

2. *Тартаковский, Д. Ф.* Метрология, стандартизация и технические средства измерений [Текст] / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. М.: Высш. шк., 2001.

3. МИ 1317-86. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроля их параметров [Текст]. М.: Госстандарт, 1986.

4. *Санников, С. П.* Основы метрологии и измерительной техники [Текст]: учеб. пособие / С. П. Санников, В. М. Машков; УГЛТУ. Екатеринбург, 2008.