

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра промышленной электроники и информационно-измерительной техники

Е.А. Корнев, О.В. Худорожков

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ АНАЛОГОВЫМ И ЦИФРОВЫМ ВОЛЬТМЕТРАМИ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Оренбург
2019

УДК 621.317.725
ББК 32.842-5
К672

Рецензент – профессор, доктор технических наук, профессор В.Н. Булатов

Корнев, Е.А.

К672 Измерение переменного напряжения аналоговым и цифровым вольтметрами: методические указания / Е.А. Корнев, О.В. Худорожков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019.- 21 с.

В методических указаниях изложены цели, задачи и методика проведения лабораторной работы с аналоговым и цифровым вольтметрами по измерению переменного напряжения и обработке результатов.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» для обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и средства связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

УДК 621.317.725
ББК 32.842-5

© Корнев Е.А.,
© Худорожков О.В., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

1 Цель и задачи работы.....	4
2 Используемые приборы	4
3 Вспомогательные приборы и принадлежности.....	4
4 Лабораторное задание.....	5
5 Порядок выполнения работы и методические указания	8
5.1 Ознакомление с параметрами и характеристиками используемых вольтметров и принципами их работы (домашняя подготовка к работе).....	8
5.2 Определение влияния формы измеряемого напряжения на показания электронных вольтметров	11
5.3 Определение методической погрешности, обусловленной влиянием входного сопротивления вольтметра	13
5.4 Исследование влияния параметров соединительных проводов и входной цепи вольтметра на его показания в области высоких частот.....	15
6 Отчет.....	18
7 Контрольные вопросы к защите лабораторной работы	19
Список использованных источников	20
Приложение А.....	21

1 Цель и задачи работы

Цель: закрепление теоретических знаний в области методов измерения переменного напряжения и получение практических навыков использования средств измерения - электронных аналоговых и цифровых вольтметров.

Задачи:

а) изучение принципа действия, устройства и основных метрологических параметров и характеристик электронных аналоговых и цифровых вольтметров с преобразователями амплитудного (пикового), среднеквадратического и средневыпрямленного значений напряжения;

б) овладение практическими навыками работы с аналоговыми и цифровыми вольтметрами в режиме измерения переменного тока;

в) освоение особенностей измерения напряжения сигналов различной формы.

2 Используемые приборы

2.1 Вольтметр переменного напряжения типа ВУ-15 с амплитудным (пиковым) детектором.

2.2 Вольтметр переменного напряжения типа В7-16 с преобразователем средневыпрямленного значения.

2.3 Вольтметр среднеквадратического значения ВЗ-57.

3 Вспомогательные приборы и принадлежности

3.1 Генератор измерительных сигналов (синусоидальной формы) низкочастотный ГЗ-109.

3.2 Генератор измерительных сигналов (синусоидальной формы) высокочастотный Г4-151.

3.3 Генератор прямоугольных импульсов с изменяемым коэффициентом заполнения (вспомогательный генератор).

3.4 Электронно-лучевой осциллограф С1-114.

3.5 Эталонный резистор с номиналом $(1,00 \pm 0,05)$ МОм.

4 Лабораторное задание

Определение влияния:

- формы сигнала на показания электронных вольтметров с различными типами преобразователей;
- входного сопротивления вольтметра В7-16 на погрешность измерения напряжения.
- параметров входной цепи вольтметра и соединительных проводов на частотный диапазон измерения напряжения с использованием одного из используемых вольтметров – широкополосного ВУ-15.

Указание. Количественные параметры переменного периодического напряжения $u(t)$ описываются в следующих выражениях:

1 Среднее значение (постоянная составляющая) напряжения

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt, \quad (4.1)$$

где T - интервал интегрирования.

Численное значение T в вольтметрах имеет порядок $(0,2, \dots, 1)$ с. При расчетах среднего значения и других параметров периодического сигнала в качестве интервала T удобно применять период сигнала.

2 Амплитудные параметры:

- максимальное и минимальное значения напряжения

$$U_{\text{макс.}} = \max \{u(t)\}, U_{\text{мин.}} = \min \{u(t)\}; \quad (4.2)$$

– размах

$$U_p = U_{\text{макс.}} - U_{\text{мин.}};$$

– пиковое отклонение напряжения “вверх”

$$U_{\text{вв}} = U_{\text{макс.}} - U_{\text{ср.}} \quad (4.3)$$

– пиковое отклонение напряжения “вниз”

$$U_{\text{вн}} = |U_{\text{ср}} - U_{\text{мин.}}|. \quad (4.4)$$

3 Среднеквадратическое (действующее) значение напряжения

$$U_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (4.5)$$

4 Средневыпрямленное значение напряжения

$$U_{\text{св}} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt. \quad (4.6)$$

В электронных вольтметрах переменного напряжения используют три типа преобразователей

- преобразователь амплитудного (пикового) значения, выходное напряжение которого пропорционально максимальному значению напряжения измеряемого сигнала U_m (пиковому отклонению напряжения “вверх”, если анод диода подключен к входу преобразователя или пиковому отклонению напряжения “вниз” - при обратном подключении диода);

- преобразователь среднеквадратического значения (на основе термоэлектрических, диодных, транзисторных или оптронных преобразователей), выходное напряжение которого пропорционально среднеквадратическому (действующему) значению измеренного напряжения $U_{ск}$;

- преобразователь среднев्यпрямленного значения, выходное напряжение которого пропорционально среднему значению выпрямленного напряжения $U_{св}$ (среднему значению модуля напряжения).

Если у вольтметра закрытый вход, т.е. постоянная составляющая $U_{ср}$ измеряемого напряжения не проходит на преобразователь, то его показания определяются только переменной составляющей сигнала.

Шкалы электронных вольтметров переменного тока (кроме импульсных) градуируют в среднеквадратических значениях напряжения сигнала синусоидальной формы. Импульсные вольтметры градуируют в амплитудных значениях синусоидального сигнала.

С учетом указанных особенностей показания вольтметров $U_{шк}$ определяются формулами, приведенными в таблице 4.1.

Среднеквадратическое $U_{ск}$ (пиковое отклонение “вверх”) U_m и среднев्यпрямленное значения $U_{св}$ связаны между собой коэффициентами амплитуды K_A и формы K_F следующим образом

$$U_m = K_A \cdot U_{ск}; U_{ск} = K_F \cdot U_{св}; U_m = K_A \cdot K_F \cdot U_{св}.$$

Зная результат измерений, то есть значение показаний (таблица 4.1) для используемого типа преобразователя вольтметра, можно найти неизвестные параметры измеряемого напряжения другого типа преобразователя вольтметра. Но

для этого надо правильно, в соответствии с видом функции $u(t)$, описывающей измеряемый сигнал, выбрать значения коэффициентов K_A и K_Φ . Численные значения этих коэффициентов можно вывести с использованием формул (4.2), (4.5) и (4.6).

Таблица 4.1 – Типы и показания шкал вольтметров

Тип вольтметра	Показания вольтметра	
	открытый вход	закрытый вход
Вольтметр постоянного напряжения	$U_{\text{шк}} = U_{\text{ср}} = \int_0^T u(t) dt$	-
Вольтметр с преобразователем среднеквадратического значения	$U_{\text{шк}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$	$U_{\text{шк}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u(t) - U_{\text{ср}})^2 dt}$
Вольтметр с преобразователем средневыпрямленного значения	$U_{\text{шк}} = \frac{1,11}{T} \int_0^T u(t) dt$	$U_{\text{шк}} = \frac{1,11}{T} \int_0^T u(t) - U_{\text{ср}} dt$
Вольтметр с пиковым (амплитудным) детектором	$U_{\text{шк}} = \max\{u(t)\}$ импульсный вольтметр - исключение из общего правила градуировки	$U_{\text{шк}} = 0,707 \max\{u(t) - U_{\text{ср}}\}$ такой вольтметр иногда некорректно называют амплитудным вольтметром

5 Порядок выполнения работы и методические указания

5.1 Ознакомление с параметрами и характеристиками используемых вольтметров и принципами их работы (домашняя подготовка к работе)

1 Изучите по литературе [1,2,5] и конспекту лекций теоретический материал, относящийся к данной работе. Изучите описание данной работы и составьте в рабочей тетради формы таблиц 5.1-5.6 с их заголовками.

2 Ознакомьтесь по [3] с метрологическими параметрами вольтметров. Заполните таблицу 5.1.

3 Сравните параметры вольтметров. **Сделайте выводы об области применения данных вольтметров** с точки зрения:

- формы измеряемого сигнала;
- диапазона измеряемых значений напряжений;
- диапазона рабочих частот;
- нормируемой погрешности;
- входного сопротивления и входной емкости.

Таблица 5.1 – Основные метрологические параметры вольтметров

Характеристика	Вольтметр универсальный аналоговый Тип ВУ-15	Вольтметр универсальный цифровой Тип В7-16	Микровольтметр Тип В3-57
Тип преобразователя			
Пределы измерения, В			
Диапазон частот, Гц			
Основная нормируемая погрешность, %			
Входное сопротивление, Ом			
Входная емкость, пФ			

4 Для самопроверки готовности к выполнению работы сформулируйте ответы на следующие вопросы, которые могут быть заданы при допуске и в процессе защиты работы:

- количественные характеристики переменного напряжения;
- типовые структурные схемы электронных вольтметров;
- какая из структурных схем обеспечивает высокую чувствительность вольтметра, а какая – широкий частотный диапазон;
- основные типы преобразователей переменного напряжения, применяемые в электронных вольтметрах; их схемы, формулы, описывающие их принцип действия;
- правила и процедура градуировки электронных вольтметров переменного напряжения;
- зачем нужны вольтметры с различными типами входов - открытым и закрытым;
- каким образом обеспечивают “закрытый” вход вольтметра;
- формулы, определяющие показания электронных вольтметров;

- схема и временные диаграммы сигналов, поясняющие работу пикового преобразователя с закрытым и открытым входами;
- источники погрешностей электронных вольтметров.

5 По аналогии с приведенным на рисунке 5.1 графиком нарисуйте в одинаковом масштабе временные диаграммы импульсных сигналов прямоугольной формы без постоянной составляющей при значениях коэффициента заполнения $K_3 = 0,25; 0,5$ и $0,75$. Обратите внимание, что размах импульсного сигнала не изменяется при исключении постоянной составляющей.

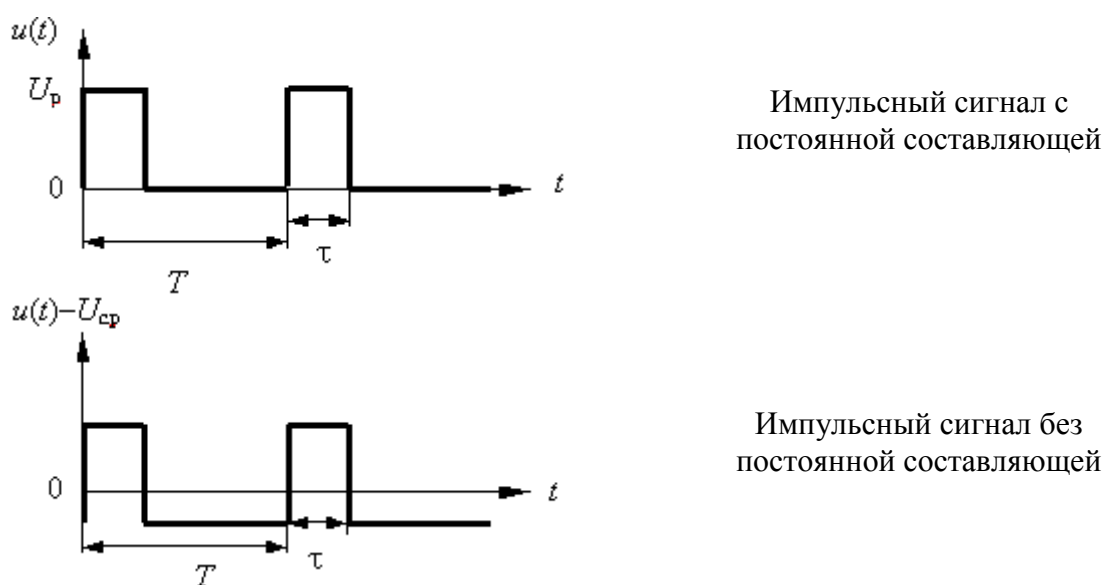


Рисунок 5.1 – Импульсные сигналы

6 Проведите расчет и запишите в таблицу 5.2 полученные расчетные значения показаний вольтметров с закрытым входом при измерении:

- синусоидального сигнала;
- импульсных сигналов прямоугольной формы без постоянной составляющей с различным коэффициентом заполнения K_3 .

Необходимые для расчета формулы приведены в таблице 4.1. Размах сигналов примите равным $U_p = 4$ В.

7 Представьте преподавателю результаты выполнения домашнего задания - заполненные таблицы 5.1 и 5.2 и получите допуск к работе.

Таблица 5.2 – Пример заполнения результатов расчета значений параметров сигналов различной формы и показаний вольтметров

Расчет показаний $U_{шк}$ вольтметров при измерении напряжения				
Тип преобразователя	импульсного сигнала прямоугольной формы без постоянной составляющей с размахом $U_p = 4$ В при $K_3 =$			синусоидального сигнала с размахом $U_p = 4$ В
	0,25	0,5	0,75	
Амплитудн.	$0,53 U_p$	$0,35 U_p$	$0,18 U_p$	$0,707 U_p / 2$
Ср.выпрямл.	$0,42 U_p$	$0,56 U_p$	$0,42 U_p$	$0,707 U_p / 2$
Ср.квadrat.	$0,43 U_p$	$0,5 U_p$	$0,43 U_p$	$0,707 U_p / 2$

5.2 Определение влияния формы измеряемого напряжения на показания электронных вольтметров

1 Включите питание вольтметров и вспомогательных приборов, ознакомьтесь с краткими техническими описаниями и органами управления вольтметров. После 15-минутного прогрева проверьте установку “0” и калибровку исследуемых вольтметров.

Подключите осциллограф к выходу генератора сигналов синусоидальной формы (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Схема измерения напряжения сигналов различной формы

2 Установите частоту сигнала генератора 1 кГц. Переключите регулятор входного делителя осциллографа Вольт/дел в положение 1 В/дел, установите ручку «Усиление» в крайнее правое положение, ручкой «Скорость развертки» получите на экране осциллографа изображение измеряемого сигнала в пределах от 2 до 4 периодов и с помощью соответствующей регулировки генератора установить размах синусоидального сигнала, равным 4 В. **В дальнейшем при выполнении положение регуляторов не изменять.**

3 Поочередно подключая исследуемые вольтметры к выходу генератора, запишите их показания в соответствующий столбец таблицы 5.3.

4 Сравните эти показания между собой и с расчетными значениями. Должны ли эти показания различаться для вольтметров с различными типами преобразователей или они должны быть приблизительно одинаковыми (в пределах погрешностей вольтметров)?

Сделайте соответствующий вывод на основе правила градуировки вольтметров переменных напряжений.

5 Подайте на вход осциллографа с выхода вспомогательного генератора импульсный сигнал прямоугольной формы положительной полярности с переключаемым коэффициентом заполнения (частота следования этих импульсов порядка 1 кГц). Убедитесь, что коэффициенты заполнения этого сигнала соответствуют значениям, указанным на переключателе вспомогательного генератора. С помощью соответствующей регулировки генератора установить размах импульсного сигнала, равным 4 В.

6 Используя переключатель осциллографа **открытый вход/закрытый вход**, выясните, что происходит с импульсными сигналами положительной полярности с различными значениями коэффициента заполнения после их прохождения через RC-цепочку, обеспечивающую закрытый вход. Сопоставьте эти осциллограммы с временными диаграммами, представленными на рисунке 5.1.

7 Измерьте тремя исследуемыми вольтметрами (имеющими закрытый вход) напряжение импульсного сигнала при коэффициентах заполнения $K_3=0,25;0,5;0,75$ и запишите показания в соответствующие столбцы таблицы 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты измерений напряжения сигналов различной формы

Вольтметр (тип преобразователя)	Показания вольтметров при измерении напряжения сигнала				Расчет размаха импульсов по результатам измерений			Расчет размаха синусоидального сигнала
	синус	импульсного при $K_3 =$			при $K_3 =$			
		0,25	0,5	0,75	0,25	0,5	0,75	
ВУ-15 с амплитудным преобразователем								
В7-16 с преобразователем средневыпрямленного значения								
В3-57 с преобразователем среднеквадратического значения								

8 Постройте по данным таблицы 5.3 графики зависимости показаний исследуемых вольтметров от значений коэффициента заполнения при измерении напряжений импульсных сигналов прямоугольной формы. Продолжите (пунктиром) эти зависимости в область малых и больших значений коэффициента заполнения. Объясните, используя осциллограммы, полученные при выполнении п. 6, различия в характере этих зависимостей для вольтметров с различными типами преобразователей.

9 По показаниям вольтметров рассчитайте значения размаха измеряемых сигналов и запишите полученные результаты в таблицу 5.3 (должны ли эти значения различаться?).

5.3 Определение методической погрешности, обусловленной влиянием входного сопротивления вольтметра

1 Относительную методическую погрешность измерения напряжения оценивают на достаточно низких частотах, на которых можно не учитывать влияния входной емкости. Тогда методическая погрешность определяется по формуле

$$\delta_{мет} = -\frac{R_{вх}}{R_{вх} + R_{вх}}, \quad (5.1)$$

где $R_{вх}$ - выходное сопротивление источника измеряемого напряжения; $R_{вх}$ - входное сопротивление вольтметра.

Если $R_{вх} \gg R_{вх}$, то методическая погрешность будет равна

$$\delta_{мет} \approx -R_{вх}/R_{вх}.$$

$R_{вх}$ можно найти путем косвенных измерений по схеме рисунка 5.3 с помощью вспомогательного эталонного резистора с сопротивлением R_0

$$R_{вх} = \frac{U_2}{U_1 - U_2} R_0 - R_{вх}. \quad (5.2)$$

2 Используя генератор ГЗ-109, цифровой вольтметр В7-16 и вспомогательный резистор R_0 , соберите схему измерения (рисунок 5.3).

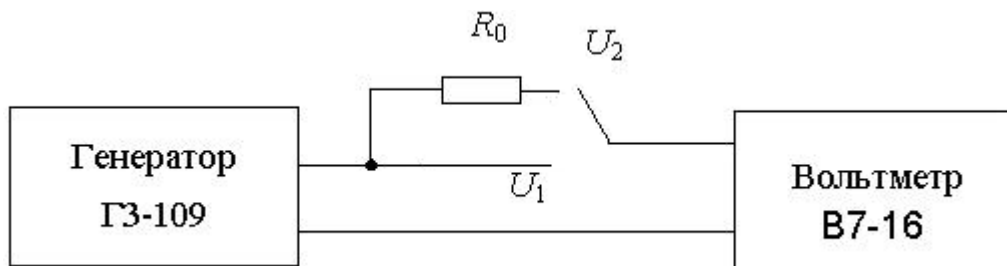


Рисунок 5.3 – Схема измерения входного сопротивления вольтметра

3 Установите переключатель выходного сопротивления генератора ГЗ-109 в положение $R_{вх} = 600$ Ом. Установите частоту генератора в пределах 50-100 Гц. Установите по вольтметру В7-16 напряжение генератора U_1 в пределах 5-10 В, измерьте этим же вольтметром В7-16 напряжение U_2 , запишите показания в таблицу 5.4.

4 Вычислите входное сопротивление вольтметра по формуле 5.2 и соответствующую методическую погрешность $\delta_{\text{мет}}$ измерения напряжения по формуле 5.1. Сравните полученные оценки с нормируемыми значениями входного сопротивления и основной погрешности цифрового вольтметра В7-16.

Таблица 5.4 – Оценка входного сопротивления вольтметра и соответствующей методической погрешности измерения напряжения

R_0 , МОм	$R_{\text{вых}}$, Ом	U_1 , В	U_2 , В	$R_{\text{вх}}$, МОм	$\delta_{\text{мет}}$, %
	600				

5.4 Исследование влияния параметров соединительных проводов и входной цепи вольтметра на его показания в области высоких частот

1 Важнейшей характеристикой вольтметра является частотный диапазон. Однако на результат измерения напряжения будут влиять и характеристики цепи, используемой для подключения вольтметра к источнику сигнала. Эквивалентная схема цепи (рисунок 5.4 а), образованной проводами, соединяющими электронный вольтметр с источником измеряемого напряжения, в области низких частот (когда влиянием индуктивности соединительных проводов можно пренебречь). Схема представляет собой интегрирующую цепочку, образованную выходным сопротивлением источника сигнала $R_{\text{вых}}$, входной емкостью прибора $C_{\text{вх}}$ и емкостью соединительных проводов $C_{\text{п}}$. Систематическая погрешность измерения напряжения, вносимая такой цепью, будет иметь отрицательный знак и будет тем больше по абсолютной величине, чем выше частота сигнала и больше постоянная времени $R_{\text{вых}}(C_{\text{вх}} + C_{\text{п}})$ такой цепи.

Если учесть распределенную индуктивность соединительных проводов $L_{\text{п}}$, то схема превращается в электрический контур (рисунок 5.4 б), резонансная частота которого приближенно может быть оценена по известной формуле

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{п}}(C_{\text{н}} + C_{\text{вх}})}}.$$

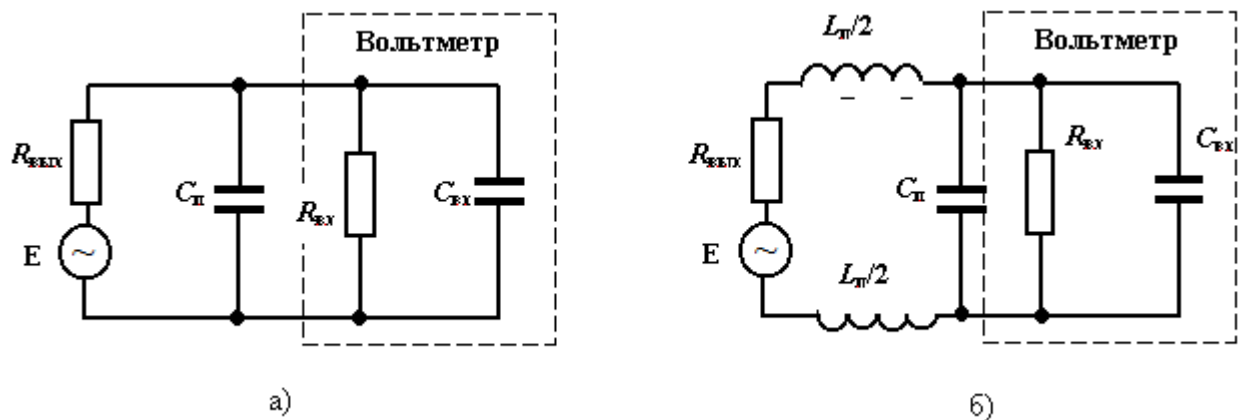


Рисунок 5.4 – Эквивалентные схемы соединительных проводов на низких (а) и высоких (б) частотах

Таким образом, на высоких частотах, когда частота измеряемого напряжения приближается к резонансной частоте входной цепи, напряжение на входных зажимах вольтметра повышается и становится больше измеряемого напряжения. Соответствующая методическая погрешность измерения может стать положительной и по абсолютной величине достигнуть значений порядка 150 - 300 % !!! Значение относительной погрешности, возникающей вследствие явления резонанса во входной цепи

$$\delta(f) = \frac{U(f) - U(0,1)}{U(0,1)} \cdot 100 \%,$$

где $U(f)$ – показания вольтметра при измерении напряжения сигнала с частотой f ;

$U(0,1)$ – показания вольтметра при измерении напряжения сигнала с частотой 0,1 МГц, на которой можно не учитывать влияние параметров соединительных проводов на результаты измерений.

Для повышения верхней границы частотного диапазона измеряемого напряжения соединительные провода должны быть как можно короче. Высокочастотные вольтметры, предназначенные для работы в диапазоне 1 – 1000 МГц, строятся по структурной схеме, начинающейся с преобразователя (обычно пикового детектора), который выполняется в виде выносного узла

(пробника). С помощью пробника вольтметр можно присоединить к измеряемой цепи непосредственно, практически без соединительных проводов. Длина соединительных проводов будет определяться при этом длиной общего провода пробника, которую можно обеспечить достаточно малой.

Примечание. Обратите внимание, что при использовании соединительных проводов измеряемый сигнал все равно попадает на пробник, так как в исходном положении (пробник находится в гнезде), его входной штырек соединен с входным зажимом на лицевой панели вольтметра.

2 Соедините вход вольтметра ВУ-15 (с амплитудным детектором) с выходом генератора Г4-151 проводами или соединительным кабелем.

3 Определите резонансную частоту цепи, образованной соединительными проводами, для чего перестраивайте генератор по частоте, начиная с частоты 1 МГц.

4 Путем перестройки частоты генератора во всем диапазоне его рабочих частот и регистрации показаний вольтметра в таблице 5.5, измерьте амплитудно-частотную характеристику цепи, образованной соединительными проводами.

Примечание. При подходе к резонансной частоте целесообразно уменьшать частотные интервалы между точками наблюдений.

5 Извлеките пробник из гнезда и подключите контактный штырек пробника непосредственно к выходу генератора; корпуса пробника вольтметра и генератора соедините между собой коротким отрезком провода. Повторите измерения по п.4, результаты записать в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Результаты измерения и вычисления погрешностей, возникающих вследствие явления резонанса во входной цепи вольтметра

Частота, МГц	Подключение проводами		Подключение пробником	
	$U_1, В$	δ_1	$U_2, В$	δ_2
1				

б Вычислите на каждой частоте погрешности измерения δ_1 и δ_2 относительно значения напряжения на частоте 1 МГц

$$\delta_1 = \frac{U_1 - U_{1,0}}{U_{1,0}}, \quad \delta_2 = \frac{U_2 - U_{1,0}}{U_{1,0}},$$

где U_1 и U_2 - соответственно показания вольтметра при использовании соединительных проводов и непосредственно пробника;

$U_{1,0}$ - показания вольтметра на частоте МГц.

5.7 Постройте графики зависимостей погрешностей δ_1 и δ_2 от частоты и *определите частоту измеряемого напряжения, выше которой недопустимо подключение вольтметра к измеряемой цепи соединительными проводами.*

Указание. Частота измеряемого напряжения, выше которой недопустимо подключение вольтметра соединительными проводами, определяется как частота, выше которой $\delta_1 > \delta_2$.

6 Отчет

В отчете отразите

- номер и наименование лабораторной работы;
- заполненные таблицы 5.1-5.5 с их заголовками;
- временные диаграммы импульсного сигнала;
- графики с экспериментальными данными;
- выводы.

7 Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

Подготовьте ответы на вопросы, которые могут быть заданы при допуске к работе и ее защите.

7.1 Дайте определения

- абсолютной, относительной и приведенной погрешностей;
- систематической и случайной составляющих погрешности;
- доверительной вероятности и доверительного интервала случайной погрешности;
- основной и дополнительной погрешностей;
- аддитивной и мультипликативной погрешностей.

7.2 Как оценить систематическую составляющую погрешности прибора?

7.3 Как оценить доверительный интервал случайной погрешности однократного измерения при заданной доверительной вероятности и нормальном законе распределения?

7.4 В каких случаях при определении доверительного интервала для случайной погрешности с нормальным законом распределения следует использовать распределение Стьюдента?

7.5 Как правильно представить результат измерения?

7.6 Перечислить основные нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

7.7 Каким образом нормируют погрешности средств измерений?

7.8 Что такое класс точности средств измерений? Какие существуют способы задания класса точности?

7.9 Каким образом можно оценить абсолютную погрешность результата измерений, если известен класс точности используемого прибора?

7.10 Что такое вариация показаний аналогового прибора и как можно ее оценить?

7.11 Устройство и работа вольтметров В7-16, ВУ-15, ВЗ-57 и их составных частей?

Список использованных источников

1 Шпаков, П. С. Математическая обработка результатов измерений / Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. - Краснояр.: СФУ, 2014. - 410 с.: ISBN 978-5-7638-3077-4 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/550266>

2 Метрология и радиоизмерения: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Радиотехника" / В. И. Нефедов [и др.] ; под ред. В. И. Нефедова.- 2-е изд., перераб. - Москва: Высш. шк., 2006. - 526 с. : ил.. - Авт. указаны на обороте тит. л. - Библиогр.: с. 514. - Предм. указ.: с. 515. - ISBN 5-06-004427-0.

3 Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - М.: Высш. шк., 2001. - 205 с.: ил - ISBN 5-06-003796-7.

4 Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для академического бакалавриата: учебник для студентов высших учебных заведений обучающихся по инженерно-техническим направлениям и специальностям / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе . - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2015.

5 Третьяк, Л. Н. Основы теории и практики обработки экспериментальных данных: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / Л. Н. Третьяк, А. Л. Воробьев; под общ. ред Л. Н. Третьяк.- 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2017. - 218 с. : ил.; 16,82 печ. л. - (Университеты России). - На тит. л.: Книга доступна в электронной библиотечной системе biblio-online.ru. - Библиогр.: с. 198. - Прил.: с. 199-211. - Предм. указ.: с. 212-217. - ISBN 978-5-534-04914-5.

Приложение А

(обязательное)

Таблица Стьюдента-Фишера

n	Значения t_α , удовлетворяющие равенству $2 \int_0^\infty S(t,n)dt = \alpha$, при α						
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
3	1,336	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
4	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
5	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
6	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
7	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
8	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
9	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
10	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
11	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
12	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,487
13	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
14	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
15	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
16	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
17	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
18	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
19	1,067	1,330	1,734	2,103	2,552	2,878	3,922
20	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883