

УДК 621.317.725

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ РАЗНЫХ ФОРМ И
СОПУТСТВУЮЩЕЙ КАЛИБРОВКИ ВОЛЬТМЕТРОВ****К.В. Епифанцев, Т.П. Мишура, П.А. Около-Кулак**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия,
epifancew@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрены алгоритм измерений переменного напряжения разных форм и способ обработки результатов наблюдений с целью получения значений параметров измеряемого сигнала. Основной целью данной работы является выявление студентами особенностей измерения тремя типами вольтметров с разными измерительными преобразователями, а также возможность визуализации происходящих процессов на осциллограммах. Данная работа позволяет расширить теоретические знания студентов по дисциплине «Метрология и измерения» и приобрести навыки в организации и проведении измерительного эксперимента. В соответствии с требованиями к учебному процессу по цифровизации в работе используются современные цифровые приборы и другие цифровые инструменты. Актуальность работы обусловлена тем, что в условиях непрерывного развития промышленности необходимо использование более мощных напряжений, а значит их измерения и контроль. Значительная часть компонентов промышленного оборудования работает на постоянном токе, и поломка блоков управления из-за скачков напряжения вызовет простой оборудования. А в условиях работы в 2022 году замена данных блоков на новые невозможна, так как основные производители вычислительной техники остановили поставки своих компонентов на территорию РФ. В связи с этим необходимы более точные и надёжные приборы контроля.

Ключевые слова: осциллограф, вольтметр, переменное напряжение, генератор.

**DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR RESEARCH
MEASUREMENTS OF ALTERNATING VOLTAGE
OF VARIOUS FORMS AND THE ACCOMPANYING
CALIBRATION OF VOLTMETERS****K.V. Epifantsev, T.P. Mishura, P.A. Okolo-Kulak**

*St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg, Russia,
epifancew@gmail.com*

Abstract. The paper considers an algorithm for measuring alternating voltage of various forms and a method for processing the results of observations in order to obtain the values of the parameters of the measured signal. The main purpose of this work is to identify by students the features of measuring three types of voltmeters with different measuring transducers, as well as the possibility of visualizing the processes taking place on oscillograms. This work allows students to expand their theoretical knowledge of the discipline "Metrology and Measurements" and acquire skills in organizing and conducting a measuring experiment. In accordance with the requirements for the educational process on digitalization, modern digital devices and other digital tools are used in the work. The relevance of the work is due to the fact that in the conditions of continuous development of industry, it is necessary to use more powerful voltages, which means their measurement

and control. A huge part of the components of industrial equipment operates on direct current, and the breakdown of control units due to voltage surges will cause equipment downtime. And in the conditions of work in 2022, it is impossible to replace these blocks with new ones, since the main manufacturers of computer equipment have stopped supplying their components to the territory of the Russian Federation. In this regard, more accurate and reliable monitoring devices are needed.

Keywords: oscilloscope, voltmeters, AC voltage measurement, generator.

Основу деятельности бакалавра — будущего инженера — составляет содержание в исправном состоянии эксплуатируемого радиоэлектронного оборудования. Для обеспечения безопасности и высокой эффективности его работы нужно обладать навыками квалифицированного выбора не только методов и средств измерений, но и нормативно-технической документации по метрологическому обеспечению, что необходимо для обеспечения единства измерений. Для выпуска продукции высокого качества и её обслуживания необходимо также знание стандартов по установлению норм, правил и условий сертификации процессов производства, продукции и услуг. В статье описаны различные виды измерительных осциллографов, в том числе современные цифровые, и их применение в аспекте методики измерений переменных напряжений. Рассмотрены особенности измерения напряжений различных форм с помощью вольтметров с различными типами преобразователей. Основная цель поставленной в лаборатории работы: изучение вольтметров переменного тока с разными типами измерительных преобразователей, знакомство с особенностями измерения напряжения сложной формы. Важным аспектом также является и факт ознакомления с функциями цифрового вольтметра, позволяющего записывать измерения в режиме онлайн на персональный компьютер.

Наиболее важным элементом лабораторной работы является вольтметр амплитудного значения — это вольтметр, показания которого соответствуют амплитуде измеряемого синусоидального напряжения или максимальному значению при периодическом напряжении несинусоидальной формы. Шкалу прибора можно градуировать как в максимальных значениях напряжений, так и в действующих значениях напряжений, так и в действующих значениях $U = U_m / \sqrt{2}$ (только при измерении синусоидальных напряжений). Вольтметр автоматически регистрирует значения напряжения пробоя изоляции с выдачей управляющего сигнала в испытательную установку и способен регистрировать текущее значение напряжения по внешнему сигналу. Предусмотрена возможность фиксации оператором показаний на обоих индикаторах в любой момент измерений и возврат в режим измерения текущих значений. На лицевой панели вольтметра размещены органы управления режимами работы и модуль индикации, приведено наименование «Вольтметр амплитудный ВА 11». На задней панели расположены разъёмы для подключения измерительного кабеля напряжения, датчика тока и кабеля питания. Выпускается в двух исполнениях: в виде настольного прибора и прибора, встраиваемого в приборную стойку.

Вольтметры применяются в составе измерительных систем установок высокого напряжения для испытаний электрической прочности изоляции по ГОСТ 17512-82 «Электрооборудование и электроустановки на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением» и ГОСТ Р 55193-2012 (МЭК 60060-2:2010) «Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением».

В состав лабораторной установки (рис. 1) входят:

- три вольтметра с разными типами детекторов: амплитудного (ВА 11), средневывпрямленного (Ф5053), действующего (GENSTEK) значений и стандартный (Voltcraft);
- источники сигналов синусоидальной формы (генератор высокой частоты, ЛАТР — лабораторный автотрансформатор напряжения сети);
- источник сигналов сложной формы, выполненный в виде лабораторного макета;
- цифровой осциллограф АКИП-4115/3А.

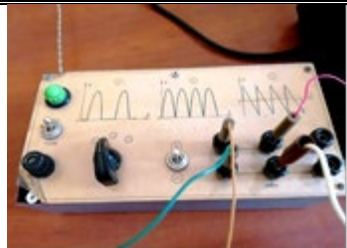


Рис. 1. Используемые вольтметры и формирователь сигналов ЛАТР

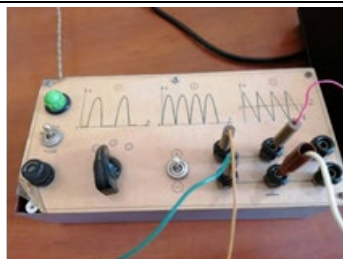
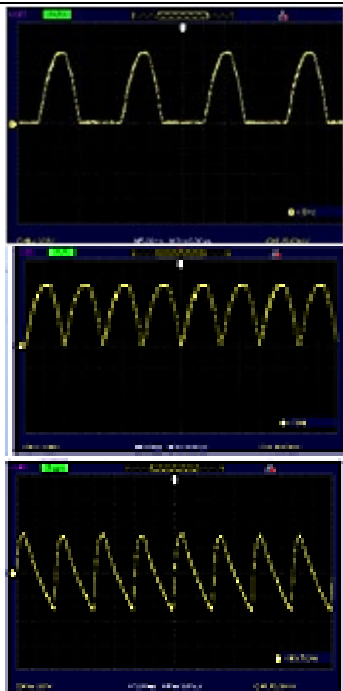
Первые два вольтметра — промышленные приборы, шкала которых проградуирована в действующих значениях синусоидального напряжения. Третий представляет собой триодный вольтметр, шкала которого градуируется в процессе выполнения работы. Алгоритм работы представлен в таблице 1.

Таблица 1

Алгоритм работы

№	Описание алгоритма действий	Фото
1	Включите в цепь формирователь сигналов — ЛАТР	

Продолжение таблицы 1

№	Описание алгоритма действий	Фото
2	Включите в цепь осциллограф АКИП 4115/3А, соедините с формирователем сигналов (ЛАТР)	
3	Управляйте тумблером на формирователе сигналов (ЛАТР), переключаясь от одной формы сигналов к другой	
4	Осциллограмму каждого из трёх видов сигналов выведите на экран компьютера, согласно видеометодике, которую можно найти при сканировании следующего QR-кода:  Зафиксируйте длину волны, высоту подъёма, точки минимума и максимума, используя клавишу осциллографа «Измерение». С помощью регулировки уровня положения осциллограммы выведите её в удобное расположение экрана. В зависимости от положения тумблера на формирователе сигналов будут получены 3 типа осциллограмм	
5	Заполните таблицу 2	
6	Разъедините цепь	

В начале работы необходимо визуально рассмотреть, чем отличаются сигналы разных форм друг от друга. Для этого нужно воспользоваться источником этих сигналов ЛАТР и осциллографом запоминающего типа АКИП. По сравнению с аналоговыми цифровые осциллографы (рис. 2) имеют более широкие

возможности. Стоимость их постепенно снижается, и они становятся доступными для обучения. Цифровой осциллограф включает в себя делитель напряжения, усилитель, преобразователь аналогового сигнала, блок управления, жидкокристаллическую (ЖК) панель.



Рис. 2. Цифровой запоминающий осциллограф

Принцип действия такого вида осциллографов основан на преобразовании входящего аналогового сигнала в цифровую форму и хранении. Скорость сохранения определяется управляющим устройством. Её верхняя граница задаётся скоростью преобразователя, а нижняя граница не имеет ограничений.

Преобразование сигнала в цифровой код даёт возможность увеличить устойчивость отображения, сохранить данные в память, сделать растяжку и масштаб проще. Применение ЖК-дисплея вместо электронной трубки позволяет отображать любые данные и осуществлять управление прибором. Дорогостоящие приборы оснащаются цветным экраном, что позволяет различать сигналы других каналов, курсоры, выделять цветом разные места.

Параметры цифровых осциллографов намного выше аналоговых моделей, в больших пределах находится растяжка сигнала. Кроме простых схем включения синхронизации может использоваться синхронизация при некоторых событиях или параметрах сигнала. Синхронизацию можно увидеть непосредственно перед включением развёртки.

Применяемые процессоры дают возможность обработки спектра сигнала с помощью анализа преобразованием Фурье. Информация в цифровом виде позволяет записать в память изображение экрана с результатами измерения с возможностью распечатать их на принтере. Многие приборы оснащены накопителями для записи изображения в архив и последующей обработки. Работа с таким осциллографом позволяет студентам изучить принцип работы прибора, овладеть методикой исследования сигналов разной формы, не только наблюдая за изображением, но и получая значения их параметров в цифровой форме, а затем сравнить эти показания с результатами измерений, полученными с помощью других типов средств измерений.

Исследование особенностей измерения напряжений сложной формы заключается в сравнении результатов их измерений тремя типами вольтметров при разных полярностях напряжений U_+ и U_- .

При подготовке к выполнению исследования необходимо учесть, что любое периодическое переменное напряжение $u(t)$ полностью характеризуется следующими значениями [3, 4]:

- амплитудным U_m , т.е. максимальным из мгновенных значений $u(t)$ за период T напряжения (рис. 3);

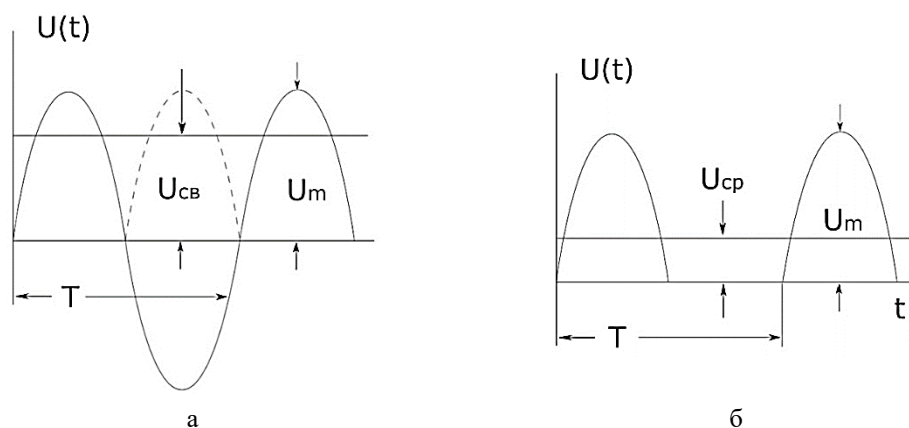


Рис. 3. Формы переменного напряжения: а — двухполярное; б — однополярное

- средневывпрямленным $U_{св}$, которое является средним арифметическим из мгновенных абсолютных значений $u(t)$ за период T (рис. 3а):

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

- средним $U_{ср}$ (постоянной составляющей U_0), которое является средним алгебраическим из мгновенных значений $u(t)$ за период T :

$$U_{ср} = U_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt; \quad (2)$$

- действующим (среднеквадратическим, или эффективным) U , которое является средним квадратическим из мгновенных значений $u(t)$ за период T :

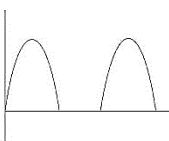
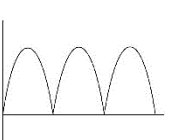
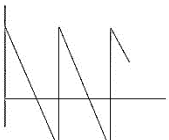
$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (3)$$

Для каждой из форм кривой напряжения $u(t)$ существует определенная связь между этими значениями, устанавливаемая с помощью коэффициента амплитуды $K_a = U_m / U$ и коэффициента формы $K_\phi = U / U_{св}$.

Так, для $u(t) = U_m \sin(\omega t)$ по выражениям (2) и (3) можно установить, что $U_m = \sqrt{2} U$; $U_{св} = 2U_m / \pi = 0,9U = 0,636U_m$. Тогда для синусоидального напряжения $K_a = \sqrt{2}$, $K_\phi = 1,11$. Значения K_a и K_ϕ для других исследуемых форм $u(t)$ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты измерений

Форма напряжения											
	1		2		3		U, В	U _m , В	$\frac{U_{св},}{U_0, В}$	K _a	K _φ
 $K_a = 2$ $K_\phi = 1,57$	U ₊ , В	U ₋ , В	U ₊ , В	U ₋ , В	U ₊ , В	U ₋ , В					
	α, дел		α, дел								
	U, В		U, В								
 $K_a = \sqrt{2}$ $K_\phi = 1,11$	U ₊ , В	U ₋ , В	U ₊ , В	U ₋ , В	U ₊ , В	U ₋ , В					
	α, дел		α, дел								
	U, В		U, В								
 $K_a = \sqrt{3}$ $K_\phi = 1,16$	U ₊ , В	U ₋ , В	U ₊ , В	U ₋ , В	U ₊ , В	U ₋ , В					
	α, дел		α, дел								
	U, В		U, В								

Все вольтметры переменного тока [4, 5] построены по принципу преобразования переменного напряжения в постоянное. Постоянный ток пропорционален одному из значений U_m , $U_{св}$ или $U_{ср}$. Тип преобразователя (детектора) определяет название вольтметра: амплитудного, действующего или средневыпрямленного значений. Независимо от типа детектора все вольтметры градуируются по действующему значению U синусоидального напряжения. Следовательно, при градуировке амплитудных вольтметров значения всех оцифрованных точек шкалы уменьшены в $\sqrt{2}$ раз, вольтметров средневыпрямленного значения увеличены в 1,11 раз, для вольтметров действующего значения градуировочный множитель равен 1.

В связи с этим при измерении напряжений, по форме отличных от синусоидальной, следует учесть особенности градуировки, чтобы вернуть полученные показания U_n к действующим значениям U_m или $U_{св}$. Так, для амплитудных вольтметров $\sqrt{2} \cdot U_n = U_m$, а для вольтметров средневыпрямленного значения $U_n / 1,11 = U_{св}$. Показания вольтметров эффективного значения не зависят от формы кривой измеряемого напряжения, т.е. при любой форме $U_a = U$.

Ещё одной особенностью измерения напряжений сложной формы является присутствие в них постоянной составляющей $U_0 = U_{ср}$, для которой вход вольтметра может быть закрыт. Это обстоятельство также следует учитывать при оценке показаний вольтметров [1, 2].

Источником напряжений сложной формы является лабораторный макет генератора. Форма напряжения изображена на его верхней панели и переключается с помощью коммутатора в три положения. Переключателем на два положения изменяется полярность напряжения. Для одновременного подключения трёх вольтметров на выход генератора предусмотрены 3 пары выходных клемм. При подключении вольтметров следует строго соблюдать полярность включения. Потенциальный вход вольтметра должен быть подключён к верхней клемме макета.

Перед началом исследований необходимо с помощью осциллографа контролировать форму каждого напряжения на выходе генератора и измерить его амплитуду U_m , пользуясь методикой, прилагаемой к осциллографу. Полученные осциллограммы сфотографировать в реальном линейном масштабе и привести в отчёте по лабораторной работе [7].

Подключить к выходу генератора параллельно три вольтметра и снять показания каждого из них при двух полярностях напряжения U_+ и U_- каждой из форм. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Показания триодного вольтметра заносятся в таблицу в виде отсчётов по его шкале α (дел), которые затем переводятся в показания вольтметра U (В).

По результатам измерений определить для каждого сигнала U_m , $U_{ср}$ (U_0), U , а также рассчитать коэффициенты K_a и K_{ϕ} . Для этого необходимо действовать следующим образом:

- выявить наличие в сигнале постоянной составляющей (первый и второй сигналы), так как для вольтметров с закрытым входом (последовательно включённый конденсатор на входе) в полученном результате измерения постоянная составляющая сигнала U_0 будет отсутствовать (для наглядности представления рекомендуется геометрически вычесть U_0 из кривой исследуемого сигнала);
- рассчитать для вольтметра среднеквадратическое значение с закрытым входом:

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots},$$

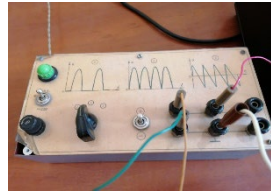
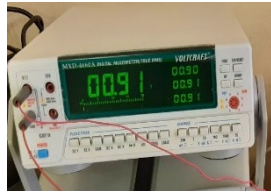
- где U_0 — постоянная составляющая, равная, например, $U_n / 1,11$ для вольтметра средневыпрямленного значения; $U_n^2 = U_1^2 + U_2^2 + \dots$ — квадрат показываемой величины напряжения триодным вольтметром (действующего значения), равный сумме квадратов действующих значений первой, второй и т.д. гармонических составляющих сложного по форме напряжения;
- рассчитать для вольтметра амплитудного значения $U_m = (|U_{+n}| + |U_{-n}|) \cdot \sqrt{2}$, учитывая, что постоянная составляющая равна $U_{-n} \cdot \sqrt{2}$, где U_{-n} и U_{+n} — показания амплитудного вольтметра при различной полярности подключения;
 - вычислить для вольтметра средневыпрямленного значения $U_{св} = U_n / 1,11$, где U_n — показания вольтметра средневыпрямленного значения;
 - рассчитать значения K_a и K_{ϕ} ;
 - сопоставить результат вычислений U_m с данными, полученными с помощью осциллографа, а результаты расчёта K_a и K_{ϕ} — с их теоретическими значениями (таблица 2).

Примечание: в таблице 2 номерами 1, 2 и 3 обозначаются вольтметры действующего, амплитудного и средневыпрямленного значений напряжения соответственно.

Алгоритм выполнения второй части работы представлен в таблице 3.

Таблица 3

Алгоритм работы со 2 частью лабораторной работы

№	Описание алгоритма действий	Фото
1	Клеммы ЛАТР подсоедините к мультиметру, соблюдая полярность	
2	Подключите к клеммам вместо осциллографа мультиметр Voltcraft и на отметке АС проведите измерения в каждом из токов разных форм, подключив вольтметр к формирователю сигналов. На формирователе сигналов измените полярность щелчком тумблера и ещё раз зафиксируйте силу тока, заполните таблицу 4	
3	Подключите попеременно все клеммы ЛАТР к ВА 11, проанализируйте, как меняется напряжение при нажатии клавиш «вниз» и «вверх» на центральной панели прибора. Поменяйте полярность. Запишите измерения в таблицу 4	

Продолжение таблицы 3

№	Описание алгоритма действий	Фото
4	Подключите попеременно все клеммы ЛАТР к GENSTEK, рассмотрите, как меняется напряжение при нажатии клавиш «вниз» и «вверх» на центральной панели прибора. Поменяйте полярность. Запишите измерения в таблицу 4	
5	Подключите попеременно все клеммы ЛАТР к Ф5053, рассмотрите, как меняется напряжение при нажатии клавиш «вниз» и «вверх» на центральной панели прибора. Поменяйте полярность. Запишите измерения в таблицу 4	

Все результаты измерений по алгоритму, представленному в таблице 3, занести в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты измерений

Форма сигнала, МГц	Переключение полюсов	1		2		3	
		min	max	min	max	min	max
Показания Voltcraft	Полюсность	+					
		–					
Показания ВА 11	Полюсность	+					
		–					
Показания GENSTEK	Полюсность	+					
		–					
Показания Ф5053	Полюсность	+					
		–					

Далее в продолжение работы необходимо провести калибровку вольтметра амплитудного и прямых значений. Для проведения калибровки будут использоваться:

1. Стабильный источник питания GWINSREK GPC-6030D.
2. Эталонный мультиметр Fluke 179 EGFID.

Для измерения амплитудного (максимального) значения напряжения в выпрямительное устройство вольтметра вводится элемент, «запоминающий» значение U_x . Свойством «памяти» обладает конденсатор, заряжаемый через диод до амплитудного (максимального) значения переменного напряжения (рис. 4). Измеряемое напряжение U_x подаётся на вход прибора. В течение первой положительной полуволны входного напряжения u_x ток I заряжает

конденсатор до напряжения u_c . Во время отрицательной полуволны диод запирается, конденсатор полностью отдаёт напряжение через сопротивление R и измерительный механизм. Сопротивление нагрузки детектора R обычно 50–100 МОм. Поэтому постоянная времени разрядки $T = R \cdot C$ велика по сравнению с периодом $T = 2\pi/\omega$ измеряемого напряжения u_x и напряжение конденсатора u_c уменьшится незначительно. При следующей положительной полуволне напряжения u_x конденсатор подзарядается до напряжения $u_x = u_c$.

Таким образом, в те интервалы времени, когда мгновенное значение напряжения u_x превышает напряжение на конденсаторе u_c , диод открывается и происходит подзарядка конденсатора C (рис. 4) зарядным током i_3 . Если измеряемое напряжение $U_x = U_0 + (U_{mx} \sin(\omega \cdot t))$, т.е. содержит постоянную составляющую U_0 , то конденсатор заряжается до напряжения $u_c \sim U_0 + U_{mx}$, и показания вольтметра будут соответствовать максимальному значению напряжения $U_{x\max} = U_0 + U_{mx}$ (рис. 5).

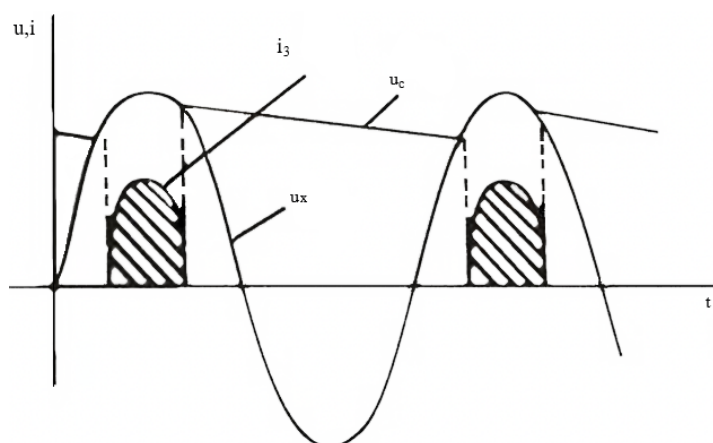


Рис. 4. Диаграмма работы амплитудного вольтметра

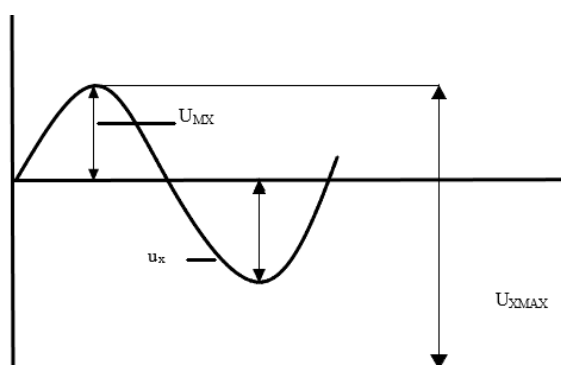


Рис. 5. Схематичное описание работы вольтметра амплитудного

Для устранения этого недостатка используют схему с закрытым входом, в которой на входе включён конденсатор, не пропускающий постоянную составляющую напряжения U_0 .

Для калибровки вольтметра ВА 11 необходимо сделать 18 измерений в режимах «+» и «-».

Необходимо провести измерения по данным точкам: 2, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 22, 30, 40, 45, 60, 80, 83, 92, 100. Следует подключить вольтметр ВА 11 к источнику питания, который параллельно подключён к эталонному мультиметру. Ниже приведены показания, полученные во время калибровки. Значения, полученные в столбцах «Фактическая абсолютная погрешность» рассчитаны по формуле:

$$\Delta = A_x - A_{\text{эт.}}$$

Необходимо рассчитать фактическую относительную погрешность измерений по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_{\text{эт}}} \cdot 100.$$

Таблица 6

Расчёт фактической относительной погрешности

Фактическая относительная погрешность при положительной полярности	Фактическая относительная погрешность при отрицательной полярности
0,15	0,35
0,28	0,37
0,06	0,06
0,32	0,32
0,11	0,29
0,09	0,30
0,25	0,28
-0,06	0,37
0,20	0,30
-0,18	0,18
0,17	0,30
0,37	0,33
0,20	0,24
0,25	0,20
0,40	0,26
0,42	0,46
0,27	0,36
-0,11	0,32

Построим сводный график для определения отношения фактических относительных погрешностей к допустимой (рис. 6).



Рис. 6. Отношение относительных погрешностей при разных полярностях к допустимой

Относительная погрешность измерений постоянного напряжения должна находиться в пределах $\pm 0,5\%$. В нашем случае средняя относительная погрешность по всему диапазону измерений при положительной полярности равна $\pm 0,18\%$, а по диапазону измерений при отрицательной полярности она равна $\pm 0,29\%$. В связи с этим можно заявить, что показания прибора достоверны и соответствуют заявленной точности. Но также можно констатировать, что при измерении высокого напряжения точность падает, как и при измерении напряжения отрицательной полярности.

Оба исследуемых прибора подтвердили соответствие фактической точности заявленной, настало время сравнить метрологические характеристики данных приборов и ответить на вопрос: возможно ли их использование в паре или по отдельности, например на входной подстанции на производстве, важно вовремя определить изменение поступающего напряжения на подстанцию, чтобы обезопасить оборудование от выгорания предохранителей или блоков управления в сборе. Для этого сформируем таблицу с основными показателями точности (таблица 7).

Таблица 7

Основные показатели точности исследуемых приборов

Приборы	BA 11	MXD-4660A
Средняя относительная погрешность при положительной полярности	0,18 %	0,03 %
Средняя относительная погрешность при отрицательной полярности	0,29 %	0,03 %
СКО на положительной полярности	0,124	0,014
СКО на отрицательной полярности	0,120	0,012

Согласно приведённым в таблице выше данным можно сделать вывод, что оба прибора справляются с поставленными перед ними задачами, показания СКО для каждого прибора в диапазон работы пропорциональны разнице в их точности. Оба прибора стабильны и могут использоваться вне лабораторий благодаря достаточно широкому диапазону рабочих температур. Использование данных приборов на выпрямительной подстанции возможно в сочетании с измерительными трансформаторами, которые для измерений понижают получаемое напряжение. Но, согласно полученным показаниям и техническим характеристикам, цифровой мультиметр MXD-4660A справится с этой задачей лучше. Он более точен, стабилен, диапазон измерений шире, что делает его более универсальным. Также большим плюсом является возможность подключения данного прибора к компьютеру, что позволяет записывать данные, полученные при измерениях, автоматически.

К сожалению, найти более точный амплитудный вольтметр не получилось, но если теоретически сравнивать одинаковые по точности приборы, то совокупное их использование может быть очень полезным, так как большим плюсом амплитудного вольтметра при правильной конфигурации является возможность построения графика сигнала, где наглядно видны амплитуда переменного напряжения и теоретически рассчитанное значение постоянного тока, которое получится после выпрямления напряжения.

В заключение хочется добавить, что оба исследуемых прибора можно купить за приемлемую стоимость, в совокупности с хорошими показателями точности и стабильности их использование возможно ещё в течение нескольких лет.

В процессе работы студентам необходимо разобраться, в чём различие между средствами измерений, которые они использовали в своей работе, в чём особенность каждой формы исследуемого сигнала, какая погрешность измерений каждого из используемых средств измерений.

Радиоизмерения, измерения электрических, магнитных и электромагнитных величин и их отношений, характеризующие работу радиотехнических устройств в диапазоне частот от инфразвуковых до сверхвысоких, играют, безусловно, значительную роль в развитии радиотехники и систем связи, развитии отечественного авиастроения. В университете аэрокосмического приборостроения данный тип измерений занимает важное место при развитии компетенций многих специальностей.

В изложенном материале подчёркивается особенность измерений на новом типе осциллографа, в многочисленности и широких пределах значений измеряемых величин которого выявляются возможности разработки новых, более передовых методик измерений с последующим выводом результатов измерений на персональный компьютер и возможностью дальнейшей обработки. Это позволяет заинтересовать студентов и привлечь их к дальнейшей исследовательской работе с применением новых цифровых платформ и инструментов.

Список литературы

1. РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2014.
2. Окрепилов В.В., Антохина Ю.А., Оводенко А.А., Семенова Е.Г., Сулаберидзе В.Ш., Чуновкина А.Г. Основы метрологии: учеб. пособие. — СПб.: ГУАП, 2019. — 485 с.
3. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин (с поправками): [электронный ресурс]. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200031406> (дата обращения: 20.02.22).
4. ГОСТ 8.401-80. Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования: [электронный ресурс]. — URL: <http://www.vashdom.ru/gost/8.401-80/> (дата обращения: 20.02.22).
5. Секисов Ю.Н., Паутов В.И. Основы технических измерений. Конспект лекций. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. — URL: <https://gendocs.ru/v11639/> (дата обращения: 28.02.22).
6. Елифанцев К.В., Воронин А.В. Проблемы разработки виртуального осциллографа // Метрологическое обеспечение инновационных технологий. — СПб.: ГУАП, 2020. — С. 53–54.
7. Мишура Т.П., Елифанцев К.В. Метрология и радиоизмерения: учебно-метод. пособие. — СПб.: ГУАП, 2020. — 79 с.

Статья поступила в редакцию: 24.06.2022 г.

Статья прошла рецензирование: 05.07.2022 г.

Статья принята в работу: 25.07.2022 г.