

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

Методические указания к выполнению
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №1
«ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ НАПРЯЖЕНИЯ
НА ПОКАЗАНИЯ ВОЛЬТМЕТРА»
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «РАДИОИЗМЕРЕНИЯ»
для студентов ДФО и ЗФО специальности – Радиотехника

Севастополь 2011

УДК 621.317.08(075.8)

Методические указания к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Радиоизмерения» для студентов ДФО и ЗФО направления Радиотехника/Сост. И.Л. Ветров, — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. —10 с.

Целью указаний является оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ. Излагаются основные теоретические сведения. Приводится описание лабораторных установок, программ и методик измерений, требования к содержанию отчет по лабораторным работам.

Указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения направления «Радиотехника».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций. Протокол № _____ от _____ 2011г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Радиоизмерения»

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Зиборов С.Р.

Ответственный за выпуск: доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа «Исследование влияния формы напряжения на показания вольтметра».....	3
1.1. Цель работы	3
1.2. Теоретические сведения	3
1.2.1. Измеряемые значения переменных напряжений.....	3
1.2.2. Структурные схемы электронных вольтметров	5
1.2.3. Влияние формы напряжений на показания вольтметров	6
1.3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	7
1.3.1. Описание лабораторной установки	7
1.3.2. Измерение напряжения симметричной формы	8
1.3.3. Измерение напряжения несимметричной формы	8
1.4. Содержание отчета.....	9
1.5. Контрольные вопросы	9

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОКАЗАНИЯ ВОЛЬТМЕТРА»

1.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение принципов построения электронных вольтметров и исследование влияния формы переменного напряжения на показания вольтметров.

1.2. Теоретические сведения

1.2.1. Измеряемые значения переменных напряжений

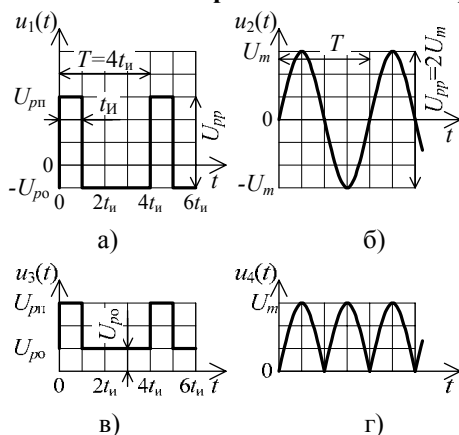


Рис. 1.1 — Временные диаграммы периодических напряжений

Задача измерения периодических напряжений наиболее часто встречается на практике. При этом исследуемое напряжение может быть не только гармоническим, но и более сложной формы. На рис. 1.1. показаны примеры временных диаграмм периодических напряжений

В общем случае периодическое напряжение

$$u(t) = U_0 + u_{AC} \quad (1.1)$$

можно представить в виде суммы постоянной составляющей U_0 и переменной составляющей u_{AC} .

Постоянная составляющая периодического или среднее значение напряжения $u(t)$ за период T находят по формуле

$$U_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt, \quad (1.2)$$

где t_0 — некоторый начальный момент времени.

Постоянную составляющую можно выделить из периодического напряжения $u(t)$ с помощью фильтра нижних частот, у которого верхняя граничная частота полосы пропускания располагается существенно ниже частоты f периодического напряжения. Такой ФНЧ подавляет пульсации и пропускает на выход только среднее значение напряжения. В простейшем случае в качестве ФНЧ можно применить интегрирующую RC -цепь с постоянной времени $\tau = RC$ существенно большей, чем период повторения $T = 1/f$ напряжения $u(t)$.

Переменную составляющую периодического напряжения в соответствии с (1.1) находят как $u_{AC} = u(t) - U_0$. Среднее значение переменной составляющей

$$\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u_{var} dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt - U_0 = 0 \quad (1.3)$$

всегда равно нулю. Выражение (1.3) можно трактовать так: для переменной составляющей напряжения площадь фигуры, образованной осью времени и положительными значениями u_{AC} , равна площади фигуры, образованной осью времени и отрицательными значениями. В случае напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ (рис. 1.1, а, б) площадь фигуры, образованной осью времени и положительными значениями напряжений, равна площади фигуры, образованной осью времени и отрицательными значениями напряжений. Следовательно, постоянные составляющие напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ равны нулю.

Переменную составляющую периодического напряжения $u(t)$ можно выделить с помощью фильтра верхних частот, нижняя граничная частота полосы пропускания которого располагается ниже частоты f периодического напряжения. В качестве ФВЧ можно применить дифференцирующую RC -цепь с постоянной времени $\tau = RC$ существенно большей, чем период повторения $T = 1/f$ напряжения $u(t)$.

Переменную составляющую напряжения $u(t)$ характеризуют амплитудой, пиковым значением напряжения и размахом напряжения.

Пиковым значением U_p , называют наибольшее мгновенное значение напряжения $u(t)$ за период T . Если кривая напряжения $u(t)$ несимметрична, например $u_1(t)$ (рис. 1.1, а), то различают положительное U_{pn} и отрицательное U_{po} пиковые значения.

Размахом переменного напряжения (от пика до пика) U_{pp} называют сумму пиковых значений, т. е. $U_{pp} = U_{pn} + U_{po}$. Частным случаем переменного напряжения является гармоническое напряжение. В качестве одного из его параметров выступает амплитуда U_m , под которой понимают наибольшее значение модуля мгновенного на-

пряжения за период колебания (рис. 1.1, б). В случае гармонического напряжения $U_m = U_{pn} = U_{po}$, $U_{pp} = 2U_m$.

Средневыпрямленное значение (СВЗ) напряжения определяют как среднее значение модуля напряжения $u(t)$ за период колебания, т. е.

$$U_{CB} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt, \quad (1.4)$$

Из выражения (1.4) следует, что средневыпрямленное значение переменного напряжения u_1 всегда равно средневыпрямленному значению напряжения u_2 , если $u_2 = |u_1|$. Заметим, что средневыпрямленное значение однополярного напряжения равно модулю постоянной составляющей (среднего значения) этого напряжения.

На рисунке 1.1 (а, б) показаны временные диаграммы переменных напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$, а на рисунках 1.1 (в, г) показаны графики напряжений $u_3(t) = |u_1(t)|$, $u_4(t) = |u_2(t)|$. Средневыпрямленные значения напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ соответственно равны средневыпрямленным значениям напряжений $u_3(t)$ и $u_4(t)$.

В качестве примера найдем средневыпрямленные значения напряжений $u_1(t)$, $u_2(t)$ (рис. 1.1).

Приравнявая площади положительной и отрицательной частей напряжения $u_1(t)$ (рис. 1.1 а), составляем уравнение $U_{pn}t_H = U_{po}(T - t_H)$, из которого следует $U_{po} = U_{pn}t_H / (T - t_H) = U_{pn} / (Q - 1)$, где $Q = T/t_H$ — скважность импульсов. Учитывая, что $U_{pp} = U_{pn} + U_{po}$, получаем

$$U_{po} = \frac{U_{pp}}{Q}; \quad (1.5)$$

$$U_{pn} = \frac{U_{pp}(Q - 1)}{Q} \quad (1.6)$$

В соответствии с (1.4) находим

$$\begin{aligned} U_{CB} &= \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_H} U_{pn} dt + \int_{t_H}^T U_{po} dt \right) = \\ &= U_{pp} \frac{t_H(Q - 1)}{TQ} + U_{pp} \frac{T - t_H}{TQ} = 2U_{pp} \frac{Q - 1}{Q^2}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Теперь находим средневыпрямленное значение гармонического напряжения $u_2(t) = U_m \sin \omega t$ (рис. 1.1, б)

$$U_{CB} = \frac{1}{T} \int_0^T |U_m \sin \omega t| dt = \frac{4U_m}{T} \int_0^{T/4} \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} U_m \approx 0,637 U_m. \quad (1.8)$$

Действующее или среднеквадратическое значение (СКЗ) периодического напряжения определяют как

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt}. \quad (1.9)$$

Поскольку значение квадрата $u(t)$ определяется только модулем $u(t)$ и не зависит от его знака, то из (1.9) следует, что действующее значение переменного напряжения $u_1(t)$ всегда равно действующему значению напряжения $u_2(t)$, если $u_2(t) = |u_1(t)|$.

Найдем действующее напряжение последовательности прямоугольных импульсов (рис. 1.1, а):

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_H} (U_{pn})^2 dt + \frac{1}{T} \int_{t_H}^{T-t_H} (U_{po})^2 dt}.$$

С учетом выражений (1.5), (1.6) получаем

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_H} \left(\frac{U_{pp}(Q - 1)}{Q} \right)^2 dt + \frac{1}{T} \int_{t_H}^{T-t_H} \left(\frac{U_{pp}}{Q} \right)^2 dt} = U_{pp} \frac{\sqrt{Q - 1}}{Q}. \quad (1.10)$$

Действующее значение гармонического напряжения $u(t) = U_m \sin \omega t$ равно

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2 \omega t \, dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2T} \int_0^T [1 - \cos 2\omega t] \, dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{2T} \int_0^T dt} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (1.11)$$

Действующее значение периодического напряжения сложной формы $u(t)$, представленного в виде ряда Фурье, равно

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots} = \sqrt{U_0^2 + \sum_{i=0}^{\infty} U_i^2}, \quad i=0, 1, 2, \dots,$$

где U_i — действующее значение напряжения i -той спектральной составляющей напряжения $u(t)$.

Для переменных напряжений, с нулевой постоянной составляющей, связь между пиковым, действующим и средневыпрямленным значениями устанавливают при помощи коэффициента амплитуды k_A и коэффициента формы k_Φ .

Коэффициент амплитуды переменного напряжения определяют как отношение амплитудного или пикового значения к действующему значению переменного напряжения $u(t)$. Для гармонического напряжения $k_{AG} = U_m / U$. В случае негармонического напряжения симметричной формы

$$k_A = U_{pp} / U = U_{po} / U = \frac{U_{pp}}{2U}. \quad (1.12)$$

Коэффициент формы переменного напряжения определяют как отношение действующего значения переменного напряжения к средневыпрямленному значению:

$$k_\Phi = U / U_{CB}. \quad (1.13)$$

Зная форму переменного напряжения, можно вычислить коэффициент формы и коэффициент амплитуды и по результатам измерения одного значения напряжения рассчитать другое значение напряжения.

Для гармонического напряжения, как следует из (1.8) и (1.11), коэффициент амплитуды и коэффициент формы имеют следующие значения:

$$k_{AG} = \frac{U_m}{U} = \sqrt{2} \approx 1,41; \quad k_\Phi = \frac{U}{U_{CB}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \bigg/ \frac{2U_m}{\pi} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \approx 1,11.$$

1.2.2. Структурные схемы электронных вольтметров

В соответствии с принятой в СНГ классификацией измерительных приборов вольтметры переменного тока входят в подгруппу «ВЗ». Упрощенная структурная схема электронного вольтметра переменного тока подгруппы ВЗ изображена на рис. 1.2.

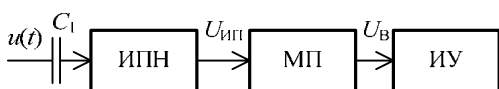


Рис. 1.2 — Упрощенная структурная схема электронного вольтметра подгруппы ВЗ

Вольтметры подгруппы ВЗ имеют закрытый вход. Разделительный конденсатор C_1 пропускает на измерительный преобразователь напряжения ИПН только переменную составляющую и не пропускает постоянную составляющую входного напряжения. Для постоянной составляющей $u(t)$ вход вольтметра закрыт, и показания вольтметров обусловлены только переменной составляющей напряжения $u(t)$.

Переменная составляющая входного напряжения преобразуется измерительным преобразователем напряжения (ИПН) в постоянное напряжение $U_{ИПН}$. В вольтметрах применяют ИПН нескольких типов. Если выходное напряжение ИПН равно амплитудному (пиковому) значению $u(t)$, то такой ИПН называют амплитудным (пиковым) детектором. Если $U_{ИПН}$ равно U_{CB} , то ИПН называют детектором средневыпрямленных значений напряжения. Если же $U_{ИПН}$ равно действующему значению $u(t)$, то ИПН называют детектором СКЗ или детектором действующего значения напряжения. Именно тип ИПН определяет фактическое измеряемое значение напряжения $u(t)$ и название вольтметра переменного тока.

Выходное напряжение ИПН преобразуется масштабным преобразователем МП в напряжение U_B , отображаемое индикаторным устройством ИУ.

На практике наиболее часто приходится производить измерения в цепях переменного гармонического тока, поэтому вольтметры подгруппы ВЗ градуированы в действующих значениях (СКЗ) гармонического (синусоидального) напряжения.

При подключении к источнику гармонического напряжения вольтметры покажут действующее значение напряжения. Равенство показаний вольтметров, отличающихся типом детектора, обеспечивается коэффициентом передачи $K_{МП}$ каскада масштабирования. В зависимости от типа вольтметра $K_{МП}$ имеет следующие значения:

вольтметр амплитудных значений — $K_{МП} = 1/k_{AG} = 1/\sqrt{2}$;

вольтметр средневыпрямленных значений — $K_{МП} = k_{ФГ} \approx 1,11$;

вольтметр действующих значений — $K_{МП} = 1$.

Если же на входы вольтметров подать переменное негармоническое напряжение, то показания вольтметров будут отличаться, поскольку в них применены разные ИПН.

Примером вольтметра амплитудных значений может служить промышленный милливольтметр ВЗ-43, предназначенный для измерения гармонических напряжений в диапазоне от нескольких милливольт до 300 вольт. На частотах до 30 МГц основная погрешность измерения напряжения составляет (4..6) %, на частотах до 1 ГГц погрешность возрастает до 25 %. Недостатком вольтметров с уравнивающим преобразованием является большая погрешность измерения напряжения с большим уровнем гармонических составляющих.

Вольтметры средневыпрямленных значений позволяют измерять переменные напряжения от десятых долей милливольт в диапазоне рабочих частот от 20 Гц до 10 МГц при основной погрешности измерения (2,5...10) %. Примером служат промышленные вольтметры типа ВЗ-38, ВЗ-39.

Вольтметры СКЗ характеризуются независимостью показаний вольтметра от формы исследуемого напряжения. Полоса рабочих частот вольтметров (50...60) МГц. Основная погрешность измерения напряжения составляет (2,5...10) %. Примером вольтметров СКЗ являются промышленные приборы ВЗ-40, ВЗ-42, ВЗ-45, ВЗ-46, ВЗ-48.

1.2.3. Влияние формы напряжений на показания вольтметров

При эксплуатации электронных вольтметров подгруппы ВЗ возникает задача измерения действующего, средневыпрямленного и амплитудного значений напряжения? Для решения этой задачи необходимо знать тип вольтметра (тип ИПН), а также значения коэффициента амплитуды и коэффициента формы исследуемого напряжения.

Пусть на вход вольтметра, тип которого известен, поступает напряжение $u(t)$ и показание вольтметра равно U_B . В случае гармонического напряжения $u(t)$ показания вольтметра любого типа, входящего в подгруппу ВЗ, равны действующему значению, поэтому $U_B = U$.

Для расчета других значений напряжения $u(t)$ необходимо учитывать тип вольтметра (тип ИПН) и коэффициент передачи $K_{МП}$ масштабного преобразователя напряжения.

При любой форме входного напряжения $u(t)$, разделив U_B на $K_{МП}$, получаем:

— для вольтметра амплитудных (пиковых) значений

$$U_m = U_B / K_{МП} = U_B k_{AG};$$

— для вольтметра средневыпрямленных значений

$$U_{CB} = U_B / K_{МП} = U_B / k_{ФГ};$$

— для вольтметра действующих значений

$$U = U_B / K_{МП} = U_B.$$

Если форма входного напряжения $u(t)$ известна, то, используя формулы (1.4), (1.9), (1.12), (1.13), можно вычислить значения коэффициентов k_A , k_F для конкретной формы напряжения $u(t)$.

Если известно U_m , то $U = U_m / k_A$, $U_{CB} = U / k_F$.

Если известно U_{CB} , то $U = U_{CB} k_F$, $U_m = U k_A$.

Если известно U , то $U_{CB} = U / k_F$, $U_m = U k_A$.

Пример 1. Пусть на вход вольтметра средневыпрямленных значений (рис. 1.2) поступает переменное напряжение $u(t)$ в виде последовательности прямоугольных импульсов со скважностью $Q=4$ (рис. 1.1, а). Показания вольтметра равны $U_B = 1,5$ В.

Требуется найти средневыпрямленное значение U_{CB} , действующее значение U , размах U_{pp} и пиковые значения U_{po} , U_{pn} переменного напряжения $u(t)$.

Учитывая, что в данном вольтметре $K_{СК} = K_{ФГ} = 1,11$, находим $U_{CB} = U_B / K_{ФГ} = 1,351$ В.

Используя выражения (1.7), (1.10), находим коэффициент формы, равный

$$K_F = U / U_{CB} = \frac{Q}{2\sqrt{Q-1}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,154.$$

Рассчитываем действующее значение напряжения

$$U = K_F U_{CB} = 1,559 \text{ В.}$$

Размах $u(t)$ находим из выражения (1.7)

$$U_{pp} = \frac{U_{CB} Q^2}{2(Q-1)} = 3,603 \text{ В.}$$

Пиковые значения находим из (1.5), (1.6)

$$U_{po} = \frac{U_{pp}}{Q} = 0,901 \text{ В;} \quad U_{pn} = U_{pp} - U_{po} = 2,702 \text{ В.}$$

1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1.3.1. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят функциональный генератор *SFG-2110*, цифровой вольтметр *B7-27*, осциллограф *C1-76*.

Функциональный генератор *SFG-2110* позволяет синтезировать гармоническое напряжение, пилообразное напряжение и последовательность прямоугольных импульсов [10]. Это основной режим работы *SFG-2110*. В дополнительном режиме работы его можно использовать в качестве цифрового частотомера. Передняя панель *SFG-2110* показана на рис. 1.3. На ней расположены: дисплей, клавиатура, разъемы, органы регулировки параметров выходного напряжения.

Дисплей предназначен для индикации параметров выходного напряжения генератора.

С помощью клавиатуры задают цифровые параметры выходного напряжения генератора. Она работает в двух режимах. Основным является режим набора цифр, которые нанесены на клавиши. При нажатии кнопки «*SHIFT*» клавиатура переходит в дополнительный режим работы. В этом режиме функциональное назначение клавиш соответствует надписям, расположенным над клавишами. Повторное нажатие кнопки «*SHIFT*» возвращает клавиатуру в основной режим работы.



Рис. 1.3 — Передняя панель генератора *SFG-2110*

Генератор *SFG-2110* имеет два выходных разъема и один входной. Основным является выходной разъем генератора, обозначенный «*OUTPUT 50 Ω*». С него снимают напряжение гармонической, пилообразной или прямоугольной формы. Разъем «*TTL/CMOS OUTPUT*» вспомогательный, с него снимают напряжение для управления *TTL* или *CMOS* (КМОП) микросхемами. Входной разъем «*COUNTER INPUT*» используют для подачи внешнего переменного напряжения при работе

генератора в режиме цифрового частотомера.

Органы регулировки параметров выходного напряжения генератора расположены ниже дисплея. Функциональное назначение каждого из органов регулировки пояснено соответствующей надписью.

Включают генератор кнопкой «*POWER*», расположенной в левом нижнем углу передней панели.

Изменение формы выходного напряжения производят нажатием кнопки «*WAVE*». Установленная форма выходного напряжения индицируется на дисплее генератора соответствующим знаком: $\sim$ — гармоническая форма; $\wedge$ — пилообразная форма; $\sqcap$ — прямоугольная форма.

Генератор *SFG-2110* позволяет изменять скважность Q импульсов прямоугольной формы. Ее устанавливают, задавая в процентах значение коэффициента заполнения $D = 1/Q$, которое может находиться в пределах от 20 % ($Q = 5$) до 80 % ($Q = 1,25$).

Выходное напряжение снимают с разъема «*OUTPUT 50 Ω*». Максимальный размах выходного напряжения генератора 10 вольт. Плавную регулировку выходного напряжения производят ручкой «*AMPL*». Выходное напряжение можно дополнительно ослабить на 20 дБ (уменьшить в 10 раз) посредством последовательного нажатия кнопок «*SHIFT*», «8».

Частоту переменного напряжения задают с помощью цифровой клавиатуры. Для выходного напряжения гармонической или прямоугольной формы частоту можно устанавливать в диапазоне от 0,1 Гц до 10 МГц. В случае треугольной формы выходного напряжения частоту можно устанавливать от 0,1 Гц до 1 МГц.

Вольтметр *B7-27* является вольтметром средневыпрямленных значений переменных напряжений с закрытым входом, отградуированным в действующих значениях гармонического напряжения. Следовательно, для получения средневыпрямленного значения U_{CB} исследуемого переменного напряжения необходимо показания вольтметра разделить на коэффициент формы гармонического напряжения $K_{ФГ}$.

Осциллограф *C1-76* является универсальным прибором для наблюдения формы исследуемого напряжения. Калиброванные чувствительность по оси Y и скорость развертки изображения по оси X позволяют оценить числовые значения ряда параметров наблюдаемого сигнала.

1.3.2. Измерение напряжения симметричной формы

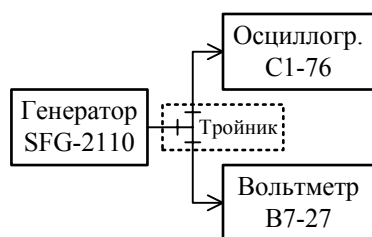


Рис. 1.4 — Схема измерительной установки

1.3.2.1. Соберите измерительную установку в соответствии со схемой, показанной на рис. 1.4.

1.3.2.2. Установите переключатель чувствительности осциллографа С1-76 на отметку «1 В/дел».

1.3.2.3. Включите приборы измерительной установки и дайте прогреться в течение 15 минут.

1.3.2.4. Установите частоту генератора SFG-2110 равной $f = n_M$ кГц, где n_M — число текущего месяца. Для этого наберите на клавиатуре генератора цифровое значение частоты и введите единицу измерения нажатием кнопки «kHz». Так, для установки частоты 17 кГц необходимо нажать кнопки: «1», «7», «kHz».

1.3.2.5. Установите гармоническую форму выходного напряжения, нажимая кнопку «WAVE» до появления на дисплее генератора знака «~».

1.3.2.6. Контролируя напряжение по шкале вольтметра В7-27, установите ручкой генератора «AMPL» выходное напряжение генератора U_{B1} равным N вольт, где N номер бригады студентов, выполняющей лабораторную работу. Значение напряжения U_{B1} занесите в соответствующую графу таблицы 1.1.

Таблица 1.1 — Результаты измерения переменного напряжения симметричной формы

Форма напряжения	U_{pp}^* , В	U_B , В	K_A	K_Φ	U_{CB} , В	U , В	U_{pp} , В
Гармоническая							
Пилообразная							
Прямоугольная							

1.3.2.7. Добейтесь устойчивого изображения гармонического напряжения на экране осциллографа.

1.3.2.8. Зарисуйте осциллограмму и оцените размах U_{pp}^* гармонического напряжения.

1.3.2.9. Установите пилообразную форму выходного напряжения, нажимая кнопку «WAVE» до появления на дисплее генератора знака «^».

1.3.2.10. Сравните полученную осциллограмму с осциллограммой гармонического напряжения. Убедитесь, что размах напряжения пилообразной формы равен размаху гармонического напряжения.

1.3.2.11. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора.

1.3.2.12. Показание вольтметра U_{B2} , соответствующее пилообразной форме выходного напряжения генератора, занесите в таблицу 1.1.

1.3.2.13. Установите прямоугольную форму выходного напряжения нажимая кнопку «WAVE» до появления на дисплее генератора знака «П».

1.3.2.14. Установите скважность последовательности импульсов прямоугольной формы равной 2, что соответствует относительной длительности импульса $DUTY$ равной 50 %. Для этого нажмите последовательно кнопки «SHIFT», «DUTY», «5», «0», «Hz/%».

1.3.2.15. По изображению на экране осциллографа, убедитесь, что размах напряжения прямоугольной формы равен размаху гармонического напряжения.

1.3.2.16. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора.

1.3.2.17. Показание вольтметра U_{B3} занесите в соответствующую графу таблицы 1.1.

1.3.2.18. Для выходных напряжений генератора рассчитайте в соответствии с формулами (1.4), (1.9), (1.12), (1.13) значения коэффициента формы и коэффициента амплитуды и занесите их в таблицу 1.1.

1.3.2.19. Используя показания вольтметра U_{B1} , U_{B2} , U_{B3} , рассчитайте средневыпрямленное значение U_{CB} , действующее значение U и размах U_{pp} для гармонической, пилообразной и прямоугольной форм выходного напряжения генератора. Полученные значения напряжений занесите в таблицу 1.1. Учтите, что В7-27 является вольтметром средневыпрямленных значений переменного напряжения.

1.3.3. Измерение напряжения несимметричной формы

1.3.3.1. Не изменяя установленных ранее значений частоты и уровня выходного напряжения нажатием кнопки «WAVE» переключите генератор в режим генерирования последовательности прямоугольных импульсов.

1.3.3.2. Установите коэффициент заполнения последовательности прямоугольных импульсов $D_1 = 100/Q = (15 + 5N) \%$, где N номер бригады студентов, выполняющей лабораторную работу. Например, для установки $D = 25 \%$ необходимо последовательно нажать кнопки «SHIFT», «DUTY», «2», «5», «Hz/%».

1.3.3.3. Значение $D = D_1$ занесите в таблицу 1.2.

1.3.3.4. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора.

1.3.3.5. Показание вольтметра U_B занесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. — Результаты измерения переменного напряжения несимметричной формы

D , %	U_B , В	U_{CB} , В	U , В	U_{pp} , В	U_{po} , В	U_{pp} , В

таблицу 1.2.

1.3.3.10. Для двух значений коэффициента заполнения D рассчитайте значения напряжений U_{CB} , U , U_{pp} , U_{pp} , U_{po} и занесите полученные результаты в таблицу 1.2.

1.4. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- расчет коэффициентов формы и амплитуды исследованных напряжений симметричной формы;
- рисунки осциллограмм исследованных напряжений;
- расчетные формулы и таблицы результатов;
- выводы по результатам работы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Какими значениями характеризуются переменные и постоянные напряжения?
2. Дайте определение среднего значения напряжения $u(t)$.
3. Вольтметром какого типа можно измерить среднее значение переменного напряжения?
4. В каком случае среднее значение периодического переменного напряжения равно нулю?
5. Дайте определение размаха напряжения $u(t)$.
6. Дайте определение средневывпрямленного значения напряжения $u(t)$.
7. В каком случае среднее и средневывпрямленное значения напряжений совпадают?
8. Дайте определение действующего значения напряжения $u(t)$.
9. Дайте определение коэффициента амплитуды.
10. Дайте определение коэффициента формы.
11. Можно ли найти средневывпрямленное значение напряжения по результатам измерения напряжения пиковым вольтметром?
12. Можно ли найти действующее значение напряжения по результатам измерения напряжения пиковым вольтметром?
13. Можно ли найти действующее значение напряжения по результатам измерения напряжения вольтметром средневывпрямленных значений?
14. В каких значениях напряжения отградуированы шкалы вольтметров переменного напряжения?

Литература по теме лабораторной работы: [1, с. 113 — 143], [3, с. 152 — 175], [5, с. 85 — 88], [6, с. 176 — 179], [7, с. 217 — 234]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения/В.Д. Кукуш. — М.: Радио и связь, 1985.— 368 с.
2. Кушнир Ф.В. Измерения в технике связи / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, С.М. Верник. — М.: Высш. шк., 1976. — 432 с.
3. Мирский Г.Я. Электронные измерения / Г.Я. Мирский. — М.: Радио и связь, 1986 — 440 с.
4. Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; Под ред. Е.М. Душина. — 6 изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1987. — 480 с.
5. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.
6. Нефедов В.И. Метрология и радиоизмерения / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков. — М.: Высш. шк., 2006. — 526 с.
7. Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения. Учебное пособие для вузов / Б. В. Дворяшин. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
8. Измеритель L , C , R универсальный Е7-11. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / НИИРИТ. — Каунас: НИИРИТ, 1980. — 97 с.

1.3.3.6. Установите коэффициент заполнения последовательности прямоугольных импульсов $D_2 = (100 - D_1) \%$.

1.3.3.7. Значение $D = D_2$ занесите в таблицу 1.2.

1.3.3.8. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения генератора.

1.3.3.9. Показание вольтметра U_B занесите в