

Метрология и радиоизмерения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 3, 4
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Воронеж 2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра радиоэлектронных устройств и систем

Метрология и радиоизмерения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 3, 4
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Воронеж 2022

УДК 721:53(073)
ББК 38.113я7-5

Составитель Ю. В. Худяков

Метрология и радиоизмерения: методические указания к выполнению лабораторных работ № 3, 4 для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Ю. В. Худяков. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 37 с.

В методических указаниях рассматриваются способы измерения параметров различных видов напряжения и принципы работы генератора Г4-102. Тематика лабораторной работы соответствует рабочей программе дисциплины «Метрология и радиоизмерения».

Предназначены для студентов 3 курса специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МиР_УМД_ЛР3,4.pdf.

Ил. 15. Табл. 13. Библиогр.: 5 назв.

**УДК 721:53(073)
ББК 38.113я7-5**

Рецензент – А. В. Останков, д-р техн. наук, профессор
кафедры радиотехники ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания к выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой курса «Метрология и радиоизмерения» для специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы».

В указаниях рассматриваются способы измерения параметров различных видов напряжения и принципы работы высокочастотного генератора Г4-102.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗМЕРЕНИЕ РАЗНЫХ ВИДОВ НАПРЯЖЕНИЙ

Целью лабораторной работы является изучение различных видов напряжений и способов измерения их параметров. Варианты заданий представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исследование различных видов напряжений для разных форм сигналов

№ варианта (по списку в группе)	Частота в измеряемой цепи, кГц	Среднеквадратическое напряжение U в измеряемой цепи, В	Скважность D для прямоугольных импульсов	Примечание
1	0,05	5,0	2,5	
2	0,06	6,3	3	
3	0,01	9,0	4	
4	0,012	10	5	
5	0,4	12	6	
6	0,8	15	7	
7	1,0	18	8	
8	2,0	20	9	
9	4,0	24	10	
10	5,0	27	3	
11	8,0	30	4	
12	10	32	5	
13	15	35	6	
14	20	40	7	
15	25	50	8	
16	50	63	9	

№ варианта (по списку в группе)	Частота в измеряемой цепи, кГц	Среднеквадратическое напряжение U в измеряемой цепи, В	Скважность D для прямоугольных импульсов	Примечание
17	80	75	10	
18	100	100	3	
19	0,05	110	4	
20	0,05	127	5	
21	200	150	6	
22	300	180	7	
23	500	200	8	
24	0,05	220	9	
25	0,05	380	10	

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерение параметров переменного напряжения — сложная метрологическая задача, связанная с обеспечением требуемого частотного диапазона и учетом формы кривой измеряемого сигнала. Переменное напряжение (переменный ток) промышленной частоты имеет синусоидальную форму

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \phi),$$

и его мгновенное значение $u(t)$ характеризуется несколькими основными параметрами: амплитудой U_m , угловой частотой ω и начальной фазой ϕ .

Уровень переменного напряжения может быть определен по амплитудному, среднему квадратическому (часто в технической литературе употребляется термины «среднеквадратическое», «действующее» и «эффективное», которые соответствующим ГОСТом относятся к нерегламентируемым), среднему (постоянной составляющей) или средневыпрямленному значениям.

Мгновенные значения напряжения $u(t)$ наблюдают на экране осциллографа или другого индикаторного устройства и определяют в каждый момент времени.

Амплитуда (высота устаревшее — пиковое значение) U_m — наибольшее мгновенное значение напряжения за время наблюдения или за период (рисунок 1).

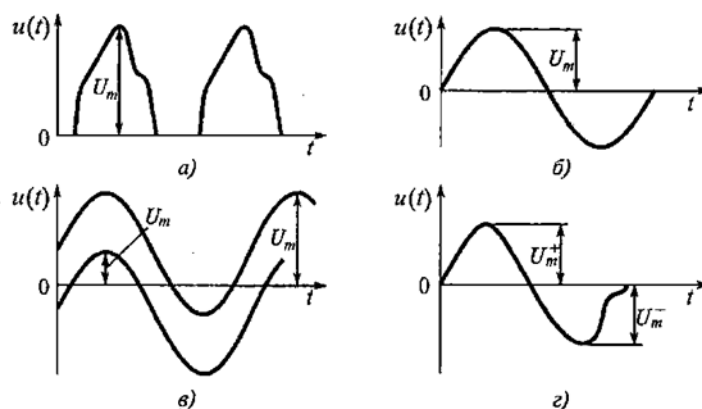


Рис. 1. Иллюстрации к понятию амплитуда напряжения: а) импульсы положительной полярности; б) синусоидальное напряжение; в) сумма синусоиды и постоянной составляющей; г) несинусоидальное колебание

Измеряемые напряжения могут иметь различный вид, например, форму импульсов, гармонического или негармонических колебаний – суммы синусоиды с постоянной составляющей и т.д.

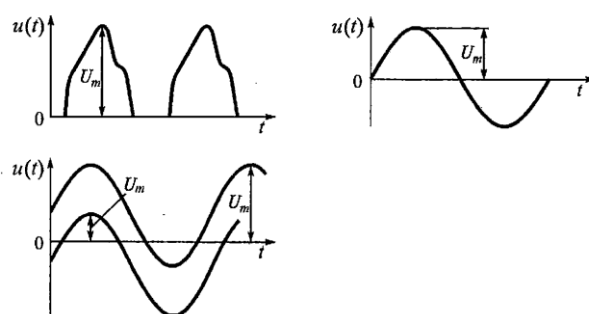


Рис. 2. Различные формы измеряемых напряжений

При разнополярных несимметричных кривых формы напряжения различают два амплитудных значения: положительное U_{m+} и отрицательное U_{m-} .

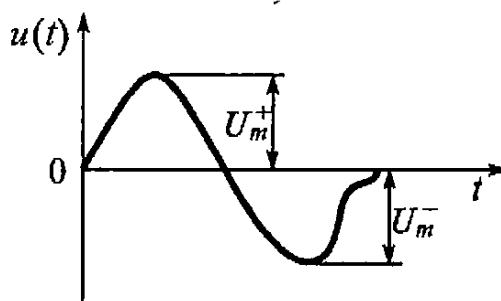


Рис. 3. Форма сигнала с разными положительным и отрицательным амплитудных значениями

Среднее квадратическое значение напряжения определяется как корень квадратный из среднего квадрата мгновенного значения напряжения за время измерения (или за период):

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

Если периодический сигнал несинусоидален, то квадрат среднего квадратического значения равен сумме квадратов постоянной составляющей и средних квадратических значений гармоник:

$$U^2 = U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots$$

Среднее значение (постоянная составляющая) напряжения равно среднему арифметическому всех мгновенных значений за период:

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

Средневыпрямленное напряжение определяется как среднее арифметическое абсолютных мгновенных значений за период:

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt.$$

Для напряжения одной полярности среднее и средневыпрямленное значения равны. В случае разнополярных напряжений эти два значения могут существенно отличаться друг от друга. Так, для гармонического напряжения

$$U_{cp} = 0, U_{cp.v} = 0,637 U_m.$$

Наиболее часто измеряют среднее квадратическое значение напряжения, так как этот параметр связан с мощностью, нагревом, потерями. Однако проще измерить амплитудное или средневыпрямленное значение и произвести пересчет с применением коэффициентов амплитуды K_a и формы K_ϕ :

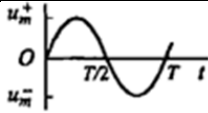
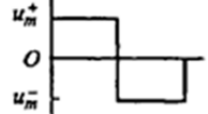
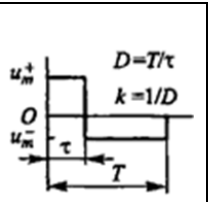
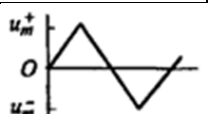
$$K_a = \frac{U_m}{U}; K_\phi = \frac{U}{U_{cp.v}}.$$

В частности, для синусоидальной (гармонической) формы переменного напряжения: $K_a = 1,41$; $K_\phi = 1,11$.

Значения этих коэффициентов для наиболее употребляемых в радиотехнических цепях и средствах измерения видов сигналов и соотношения между ними даны в таблице 2, где все величины напряжений обозначены буквой u .

Таблица 2

Наиболее употребляемых в радиотехнических цепях видов сигналов и соотношения между ними

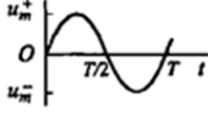
Форма сигнала	Параметры сигнала				
	Амплитуда	Средневыпрямленное значение	Среднее квадратическое значение	Коэффициент формы	Коэффициент амплитуды
	u_m	$u_{ср.в} = \frac{1}{T} \int_0^T u_x dt$	$u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_x^2 dt}$	$K_\phi = \frac{u}{u_{ср.в}}$	$K_a = \frac{u_m}{u}$
 $u_m^+ = u_m^-$	$u_m^+ = u_m^-$	$\frac{2}{\pi} u_m = 0,637 u_m$	$0,707 u_m$	$\frac{0,707 u_m}{0,637 u_m} = 1,11$	$\frac{u_m}{0,707 u_m} = 1,414$
 $u_m^+ = u_m^-$	$u_m^+ = u_m^-$	u_m	u_m	1	1
 $D = T/\tau$ $k = 1/D$ $u_m^+ = u_{m1}$ $u_m^- = -u_{m2}$ $u_m^+ + u_m^- = u_{m-m}$	$u_m^+ = u_{m1}$ $u_m^- = -u_{m2}$ $u_m^+ + u_m^- = u_{m-m}$	$2 \frac{D-1}{D^2} u_{m-m}$ или $2k(1-k) u_{m-m}$	$\sqrt{\frac{1}{D} \left(1 - \frac{1}{D}\right)} u_{m-m}$ или $\sqrt{k(1-k)} u_{m-m}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{D^2}{D-1}}$ или $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{k(1-k)}}$	$\sqrt{D-1}$ или $\sqrt{\frac{1-k}{k}}$
 $u_m^+ = u_m^-$	$u_m^+ = u_m^-$	$\frac{u_m}{2} = 0,5 u_m$	$\frac{1}{\sqrt{3}} u_m = 0,577 u_m$	$\frac{0,577 u_m}{0,5 u_m} = 1,155$	$\frac{u_m}{0,577 u_m} = 1,733$

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛА СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

В таблице 3 приведены соотношения значений различных видов напряжений для синусоидальной формы сигнала.

Таблица 3

Соотношения значений различных видов напряжений для синусоидальной формы сигнала

Форма сигнала	Параметры сигнала				
	Амплитуда	Средневыпрямленное значение	Среднее квадратическое значение	Коэффициент формы	Коэффициент амплитуды
	u_m	$u_{ср.в} = \frac{1}{T} \int_0^T u_x dt$	$u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_x^2 dt}$	$K_\phi = \frac{u}{u_{ср.в}}$	$K_a = \frac{u_m}{u}$
 $u_m^+ = u_m^-$	$u_m^+ = u_m^-$	$\frac{2}{\pi} u_m = 0,637 u_m$	$0,707 u_m$	$\frac{0,707 u_m}{0,637 u_m} = 1,11$	$\frac{u_m}{0,707 u_m} = 1,414$

Согласно ТЗ среднеквадратическое или эффективное (действующее) значения напряжения U без постоянной составляющей (положительная и отрицательные полувольтны одинаковы) равна. 70,7 В.

Тогда согласно данным таблицы 3 амплитуда U_m сигнала синусоидальной формы определяется по формуле

$$U_m = \frac{1}{0,707} = 1,41 \cdot U = 1,41 \cdot 70,7 = 100 \text{ В}$$

Средневыпрямленное напряжение $U_{\text{ср.в}}$, согласно данным таблицы 3, будет равно

$$U_{\text{ср.в}} = 0,637 \cdot U_m = 0,637 \cdot 100 = 63,7 \text{ В.}$$

Это переменное напряжение с помощью одноконтурного двухфазного выпрямителя на диодах VD3 и VD4 преобразуется в пульсирующее, постоянная составляющая которого измеряется вольтметром постоянного тока PV2.

Среднеквадратическое или эффективное (действующее) значения напряжения U измеряется вольтметром PV1, который в программе EWB измеряет только среднеквадратические значения и только переменную составляющую сигнала. Для постоянного напряжения его среднеквадратическое значение является единственным видом этого напряжения, так как нет смысла говорить об амплитуде и других аналогичных параметрах, присущим переменному или пульсирующим напряжениям. Наш вольтметр не реагирует на постоянное напряжение; ведет себя как закрытый вход осциллографа. Поэтому модель вольтметра для измерения переменных напряжений в программе EWB можно только частично использовать для измерения среднеквадратические значения напряжения.

Амплитуда верхней (положительной) полувольтны U_{m+} измеряется пиковым детектором VD2, C1, нагруженным на вольтметр постоянного тока PV3 с внутренним сопротивлением $R_{\text{IPV3}} = 1 \text{ МОм}$. Постоянная времени разряда τ конденсатора фильтра C1 будет равна

$$\tau = C1 \cdot R_{\text{IPV3}} = 1 \text{ МОм} \cdot 1 \text{ мкФ} = 1 \text{ с,}$$

что существенно больше полупериода (0,5 мс) исследуемого сигнала (1 кГц).

Амплитуда нижней (отрицательной) полувольтны U_{m-} измеряется пиковым детектором VD1, C2, нагруженным на вольтметр постоянного тока PV3 с внутренним сопротивлением $R_{\text{IPV5}} = 1 \text{ МОм}$. Отличается от предыдущего детектора только полярностью включения диода. Пиковое значение напряжения или размах U_{m-m} определяются как сумма амплитуд верхней и нижней полувольтны

$$U_{m-m} = U_{m+} + U_{m-}.$$

Проверим результаты расчета в программе EWB с помощью схемы, представленной на рисунке 4.

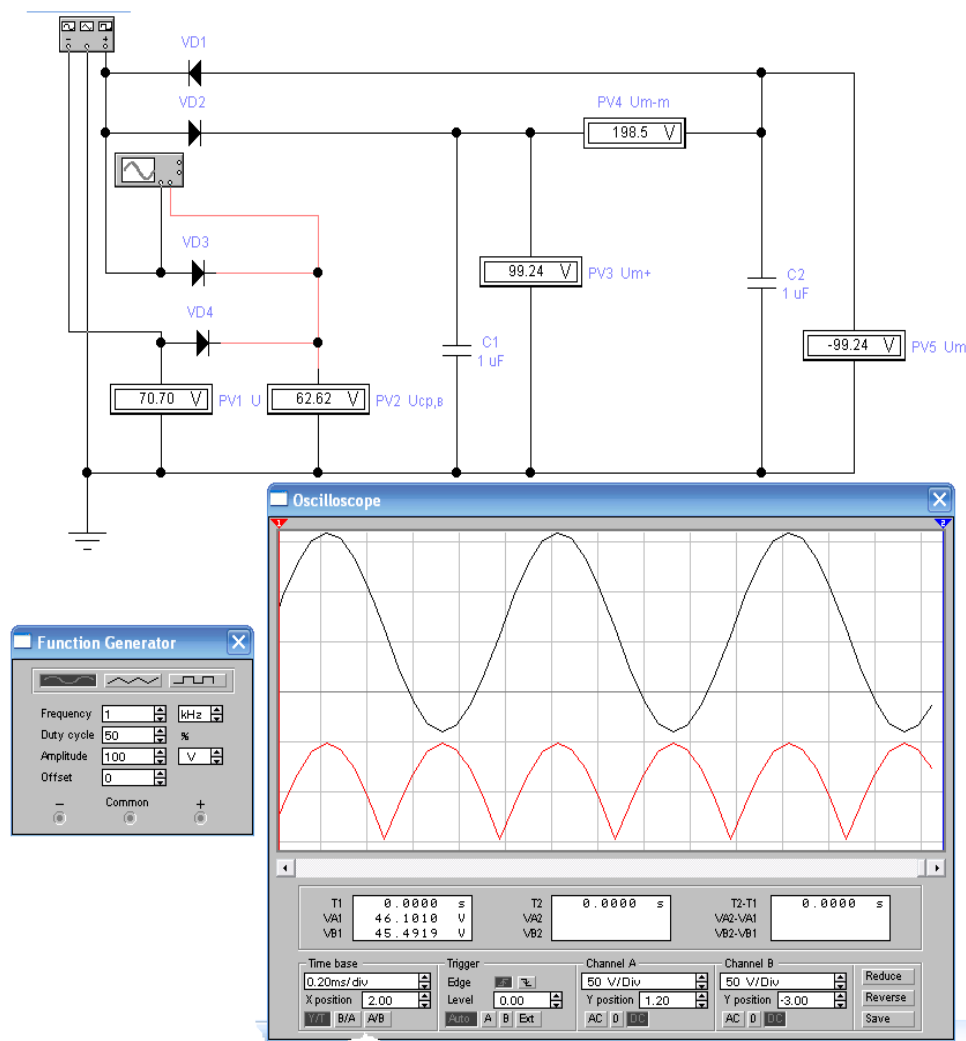


Рис. 4. Снимок с экрана результатов моделирования различных видов напряжений для синусоидальной формы сигнала

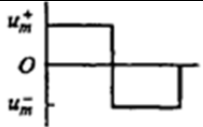
Результаты измерения для амплитудного и средневывпрямленного значений напряжения получаются несколько меньше расчетных, что в основном связано с падением напряжения на диодах.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛА В ФОРМЕ МЕАНДРА

В таблице 4 приведены соотношения значений различных видов напряжений для сигнала формы меандра.

Таблица 4

Соотношения значений различных видов напряжений для сигнала формы меандра

Форма сигнала	Параметры сигнала				
	Амплитуда	Средневыпрямленное значение	Среднее квадратическое значение	Коэффициент формы	Коэффициент амплитуды
	u_m	$u_{cp.B} = \frac{1}{T} \int_0^T u_x dt$	$u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_x^2 dt}$	$K_\phi = \frac{u}{u_{cp.B}}$	$K_a = \frac{u_m}{u}$
	$u_m^+ = u_m^-$	u_m	u_m	1	1

Определим амплитуду и средневыпрямленное напряжения для сигнала в форме меандра, у которого среднеквадратическое напряжение такое, как и для синусоидального сигнала, то есть $U_{m+} = U_{m-} = 70,7 \text{ В}$.

Опираясь на данные таблицы 3, имеем $U_{m+} = U_{m-} = U_{cp.\dot{a}} = U = 70,7 \text{ В}$. Проверим эти утверждения с помощью той же модели электрической схемы, которая применялась для исследования синусоидального сигнала, заменив лишь в функциональном генераторе форму сигнала. Результаты моделирования представлены на рисунке 5.

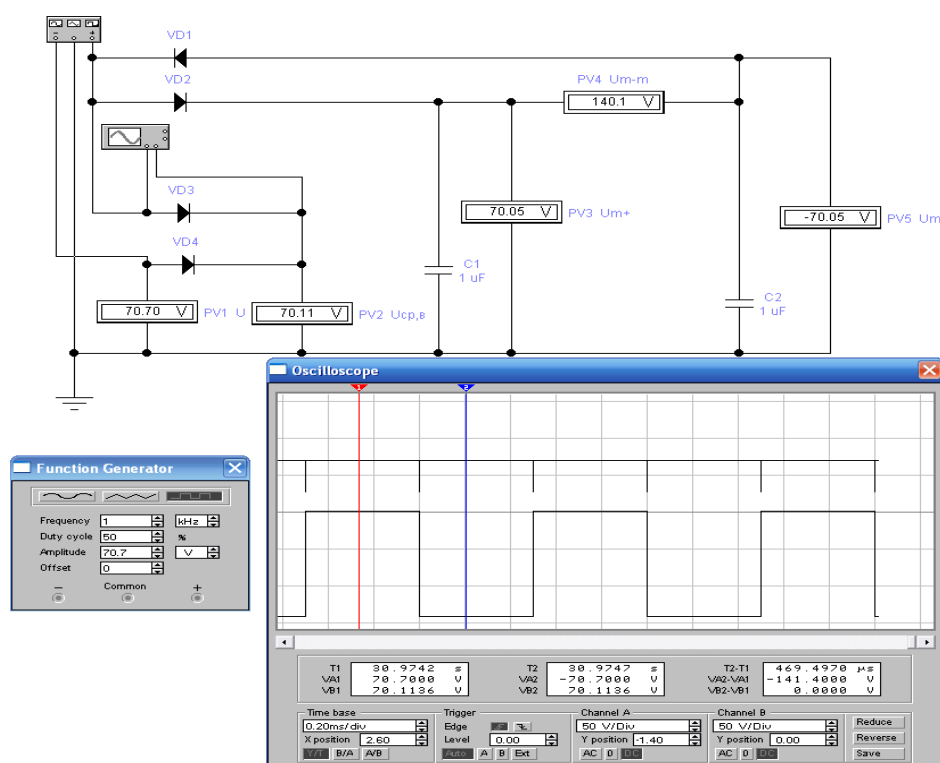


Рис. 5. Снимок с экрана результатов моделирования различных видов напряжений для сигнала в форме меандра

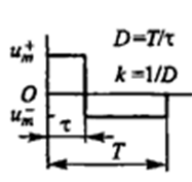
Результаты измерения для амплитудных и средневывпрямленного значений напряжения получаются несколько меньше расчетных, что в основном связано с падением напряжения на диодах.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ФОРМЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ОТЛИЧНЫХ ОТ МЕАНДРА

В таблице 5 приведены соотношения значений различных видов переменных напряжений для сигнала в форме прямоугольных импульсов с разной скважностью D .

Таблица 5

Соотношения значений различных видов напряжений для сигнала в форме прямоугольных импульсов со скважностью отличной от двойки

Форма сигнала	Параметры сигнала				
	Амплитуда	Средневывпрямленно е значение	Среднее квадратическое значение	Коэффициен т формы	Коэффициен т амплитуды
	u_m	$u_{ср.в} = \frac{1}{T} \int_0^T u_x dt$	$u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_x^2 dt}$	$K_\phi = \frac{u}{u_{ср.в}}$	$K_a = \frac{u_m}{u}$
	$u_m^+ = u_{m1}$ $u_m^- = -u_{m2}$ $u_m^+ + u_m^- = u_{m-m}$	$2 \frac{D-1}{D^2} u_{m-m}$ или $2k(1-k)u_{m-m}$	$\sqrt{\frac{1}{D} \left(1 - \frac{1}{D}\right)} u_{m-m}$ или $\sqrt{k(1-k)} u_{m-m}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{D^2}{D-1}}$ или $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{k(1-k)}}$	$\sqrt{D-1}$ или $\sqrt{\frac{1-k}{k}}$

Определим размах напряжения U_{m-m} для сигнала в форме прямоугольных импульсов со скважностью D равной 3 согласно ТЗ, у которого среднеквадратическое напряжение такое, как и для синусоидального сигнала, то есть $U = 70,7$ В.

Опираясь на данные таблицы 5, определим размах напряжения U_{m-m}

$$U_{m-m} = \frac{U}{\sqrt{\frac{1}{D} \left(1 - \frac{1}{D}\right)}} = \frac{70,7}{\sqrt{\frac{1}{3} \left(1 - \frac{1}{3}\right)}} = \frac{70,7 \cdot 3}{\sqrt{2}} \approx 150 \text{ В.}$$

Это напряжение измеряется вольтметром PV4.

В отсутствии постоянной составляющей в исследуемом сигнале должно соблюдаться равенство

$$U_{m+} \cdot \tau = U_{m-} (T - \tau) = (U_{m-m} - U_{m+}) (T - \tau).$$

Отсюда

$$U_{m+} = \frac{U_{m-m} \cdot (T - \tau)}{T}.$$

При частоте сигнала f равной 1 кГц период T будет равен

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} \text{ с или } 1 \text{ мс},$$

а длительность импульса положительной полярности τ («Dute cycle» функционального генератора в EWB) будет равна

$$\tau = \frac{T}{D} = \frac{1}{3} \approx 0,333 \text{ мс}.$$

В функциональном генераторе «Dute cycle» указано в процентах

$$\tau, \% = \frac{\tau}{T} \cdot 100\% = \frac{0,333}{1} \cdot 100\% = 33.3\%$$

С учетом последних числовых значений получаем амплитуду импульса положительной полярности U_{m+} будет равна

$$U_{m+} = \frac{U_{m-m} \cdot (T - \tau)}{T} = \frac{150(1 - 0,33)}{1} = 100,5 \text{ В},$$

а амплитуда импульсов отрицательной полярности U_{m-} определяется по формуле

$$U_{m-} = U_{m-m} - U_{m+} = 150 - 100,5 = 49,5 \text{ В}.$$

В виду особенности вольтметра среднеквадратического напряжения в программе EWB (не измеряет постоянную составляющую сигнала) необходимо сначала убрать постоянную составляющую из исследуемого сигнала путем использования кнопки «Offset» на функциональном генераторе специальных сигналов для установки рассчитанных выше амплитуд импульсов положительной и отрицательной полярностей. На всплывающем окне установки параметров функционального генератора в EWB кнопкой «Amplitude» устанавливается половина U_{m-m} , то есть 75 В.

Значение параметра U_{offset} , который задается кнопкой «Offset», определяется по формуле

$$U_{\text{offset}} = \frac{U_{m-m}}{2} - U_{m-} = 75 - 49,5 = 25,5 \text{ В}.$$

На основе данных таблицы 4 определяем величину средневыпрямленного напряжения $U_{\text{ср.в}}$ по формуле

$$U_{\text{ср.в}} = 2 \cdot \frac{D-1}{D^2} \cdot U_{m-m} = 2 \cdot \frac{3-1}{3^2} \cdot 150 = 0,44 \cdot 150 = 66 \text{ В}$$

Результаты моделирования представлены на рисунке 6.

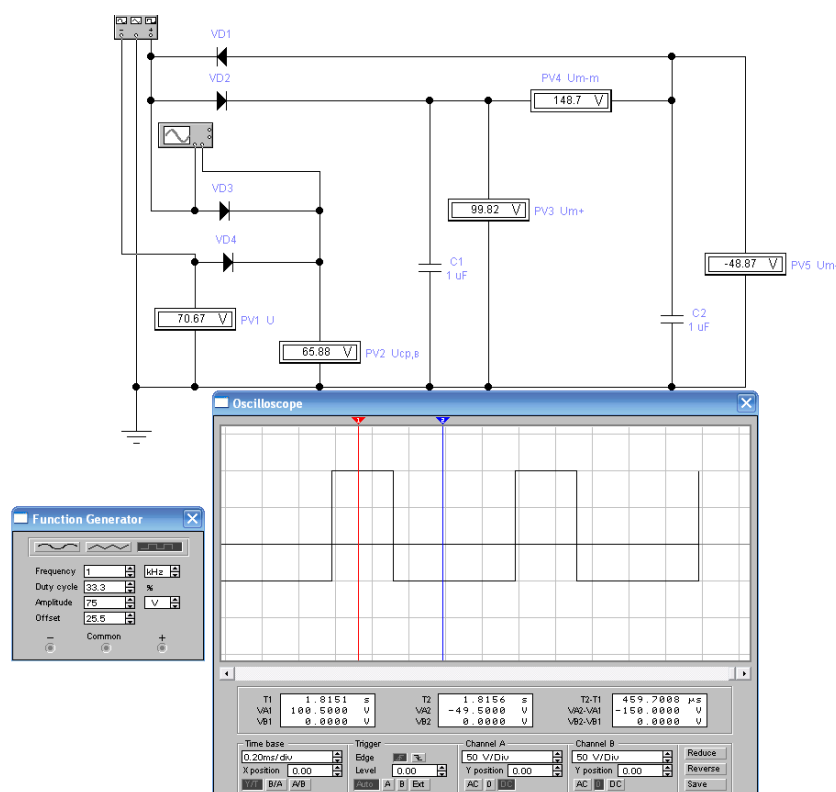


Рис. 6. Снимок с экрана результатов моделирования различных видов напряжений для сигнала в форме прямоугольных импульсов, отличных от меандра

Результаты измерения для амплитудных и средневыпрямленного значений напряжения получаются несколько меньше расчетных, что в основном связано с падением напряжения на диодах.

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ПИЛООБРАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В таблице 6 приведены соотношения значений различных видов переменных напряжений для сигнала пилообразной формы.

Таблица 6

Соотношения значений различных видов напряжений для сигнала в форме пилообразных импульсов

Форма сигнала	Параметры сигнала				
	Амплитуда	Средневыпрямленное значение	Среднее квадратическое значение	Коэффициент формы	Коэффициент амплитуды
	u_m	$u_{cp.в} = \frac{1}{T} \int_0^T u_x dt$	$u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_x^2 dt}$	$K_\phi = \frac{u}{u_{cp.в}}$	$K_a = \frac{u_m}{u}$
	$u_m^+ = u_m^-$	$\frac{u_m}{2} = 0,5u_m$	$\frac{1}{\sqrt{3}}u_m = 0,577u_m$	$\frac{0,577u_m}{0,5u_m} = 1,155$	$\frac{u_m}{0,577u_m} = 1,733$

Определим амплитуду пилообразного напряжения U_m ($U_{m+} = U_{m-}$) и средневывпрямленное $U_{\text{ср.в}}$ значение напряжения для сигнала без постоянной составляющей, у которого среднеквадратическое напряжение такое, как и для синусоидального сигнала, то есть $U = 70,7$ В согласно формулам из таблицы 6

$$U_m = \frac{U}{0,577} = \frac{70,7}{0,577} = 122,5 \text{ В},$$

$$U_{\text{ср.в}} = 0,5 \cdot U_m = 122,5 \cdot 0,5 \approx 61 \text{ В}.$$

Результаты моделирования представлены на рисунке 7.

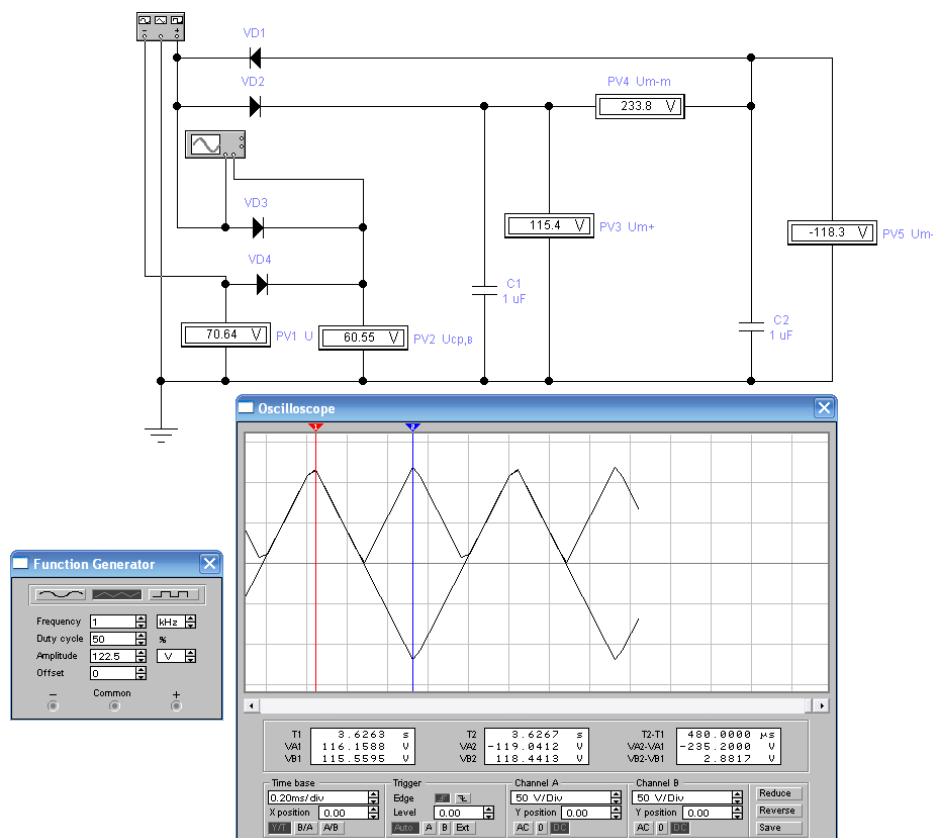


Рис. 7. Снимок с экрана результатов моделирования различных видов напряжений для сигнала пилообразной формы

На осциллограммах наблюдается искажение формы у вершин треугольников, что, вероятно, приводит к уменьшению амплитуд сигнала. Искажение формы для положительного полупериода больше, чем для отрицательного, поэтому напряжения у вершин треугольников больше для отрицательных полупериодов, на что указывают показания внутренних вольтметров осциллографа и показания вольтметров PV3 и PV5 ($U_{m+} < U_{m-}$). Причем U_{m+} и U_{m-} меньше U_m , заданного для функционального генератора кнопкой «Amplitude». Эти особенности вероятно всего связаны с неточностями программы.

Искажение формы пилообразного напряжения у вершин треугольных импульсов в меньшей степени сказываются на величины среднеквадратического U и средневыпрямленного $U_{\text{ср.в}}$ напряжений по сравнению со значениями амплитудных напряжений $U_{\text{м+}}$ и $U_{\text{м-}}$. Это связано с тем, что последние определяются только высотой треугольника, а среднеквадратическое U и средневыпрямленное $U_{\text{ср.в}}$ напряжение - площадью треугольников. А площадь зависит не только от искаженной высоты, но и от стабильного основания. Поэтому вклад нестабильной высоты в площадь меньше.

Для наглядности на рисунке 8 интегрально представлены осциллограммы напряжений различной формы, но имеющих одинаковое значение среднеквадратического U напряжения, равное 70,7 В.

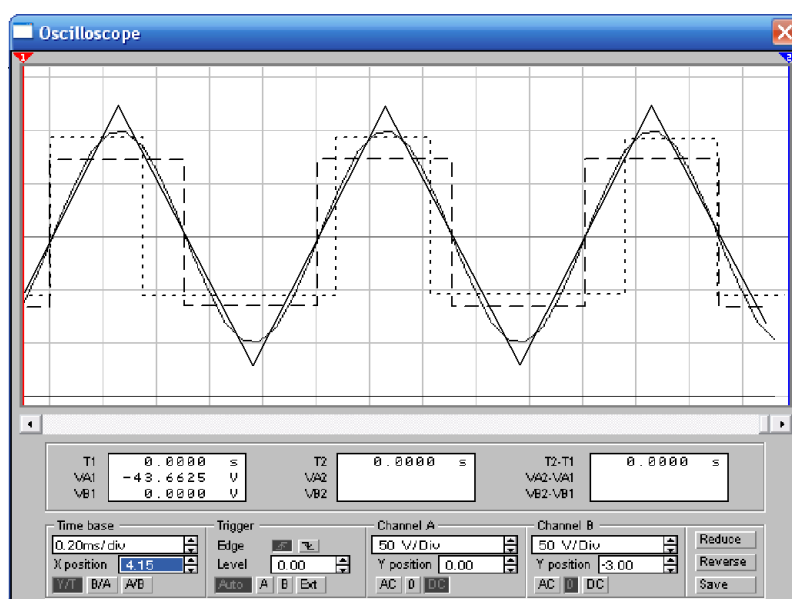


Рис. 8. Различные формы напряжений с одинаковым значением среднеквадратического или эффективного (действующего) U напряжения

Вывод: приборы среднеквадратического значения являются самыми востребованными, так как они позволяют измерять напряжения любой сложной формы.

7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ГЕНЕРАТОРА Г4-102

7.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является:

- изучение принципа работы генератора;
- изучение органов оперативного управления на функциональной схеме генератора;

– изучение органов оперативного управления на принципиальной схеме генератора;

– проверка основных параметров генератора Г4-102.

Содержанием практической части работы является определение основных параметров генератора Г4-102 и их сравнение с паспортными данными на этот прибор.

Для выполнения лабораторного задания студенты должны ознакомиться с органами оперативной регулировки осциллографа С1-65А, частотомера VC-2000 и милливольтметра ВЗ-42.

7.2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В отчете представить принцип работы генератора Г4-102, назначение органов оперативного управления и их представление на функциональной и принципиальной схемах

7.2.1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕНЕРАТОРА

Генератор сигналов высокочастотный Г4-102 предназначен для настройки, регулировки и контроля радиоприёмной аппаратуры радиовещательного диапазона.

Генератор Г4-102 обеспечивает измерение частотных и амплитудных характеристик различных устройств, реальной чувствительности и кривой верности радиоприёмников. Генератор может служить источником немодулированного и некалиброванного сигнала и использоваться в качестве гетеродина при различных преобразованиях частоты.

Генератор Г4-102 предназначен для работы в лабораторных и цеховых условиях.

Рабочие условия эксплуатации:

– температура окружающего воздуха от 263 К (минус 10 °С) до 323 К (плюс 50 °С);

– относительная влажность до 95% при температуре окружающего воздуха до 303 К (плюс 30 °С);

– напряжение питающей сети (220 ± 22) В при частоте $(50 \pm 0,5)$ Гц или $(115 \pm 5,75)$ В при частоте сети $(400 +12, \text{ минус } 28)$ Гц.

7.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Прибор обеспечивает следующие виды работ:

а) немодулированные колебания (НК);

б) внутренняя амплитудная модуляция синусоидальным напряжением;

в) внешняя амплитудная модуляция синусоидальным напряжением.

Частотные параметры (F-параметры)

Прибор обеспечивает диапазон частот от 0,1 до 50,0 МГц. Диапазон частот перекрывается восемью поддиапазонами.

Основная погрешность установки частоты не превышает $\pm 1\%$.

Нестабильность частоты при неизменных внешних условиях и при неизменном напряжении питания за любой выбранной произвольно интервал времени 15 мин. после самопрогрева в течение 30 мин. в нормальных условиях не превышает $\pm (2,5 \cdot 10^{-4} f_n + 50)$ Гц, где f_n – несущая частота.

Указанное изменение частоты гарантируется после дополнительного 15-минутного самопрогрева при перестройке частоты в пределах любого поддиапазона и при переходе на другой поддиапазон.

Паразитная девиация частоты в режиме непрерывной генерации не превышает $(10^{-6} f_n + 50)$ Гц в полосе от 30 до 1500 Гц.

Дополнительная погрешность установки частоты генератора при изменениях температуры на каждые 10 °С в пределах рабочих условий не превышает $\pm (2 \cdot 10^{-3} f_n + 250)$ Гц

Параметры выходного напряжения в непрерывной генерации (U-параметры)

Выходное напряжение генератора на согласованной нагрузке (50 ± 1) Ом, подключенной через кабель к основному выходу генератора « μV », регулируется в номинальных пределах от 0,5 до $5 \cdot 10^{-7}$ В; с выносным аттенуатором на 20 dB возможна регулировка до $1 \cdot 10^{-7}$ В.

Регулировка производится ступенями через 10 dB от 0 до 110 dB и плавно в пределах каждой ступени.

Основная погрешность установки опорного значения выходного напряжения $5 \cdot 10^{-1}$ В и установки напряжения по шкале плавной регулировки не превышает $\pm 1,0$ dB при работе генератора на согласованную нагрузку (50 ± 1) Ом.

Основная погрешность установки ослабления ступенчатого аттенуатора не превышает $\pm 1,0$ dB при ослаблениях до 100 dB и $\pm 1,5$ dB – свыше 100 dB.

Основная погрешность ослабления выносного аттенуатора не превышает $\pm 1,0$ dB; выходное сопротивление аттенуатора $(50 \pm 2,5)$ Ом; $(75 \pm 3,75)$ Ом; $(7 \pm 0,35)$ Ом.

Дополнительная погрешность установки выходного напряжения за счёт остаточного сигнала не превышает $\pm 2,5 \cdot 10^{-1}$ мкВ при работе без выносного аттенуатора и $\pm 5 \cdot 10^{-2}$ мкВ при работе с выносным аттенуатором.

Дополнительная погрешность установки опорного значения выходного напряжения при изменениях окружающей температуры на каждые 10 °С в пределах рабочих условий не превышает $\pm 0,3$ dB.

Нестабильность уровня выходного сигнала за каждые 15 мин работы генератора после самопрогрева в течение 30 мин. не превышает $\pm 0,1$ dB.

Содержание каждой из гармоник несущей частоты на основном выходе генератора в режиме немодулированных колебаний в полосе частот от $0,33f$ до $3f$ по отношению к уровню первой гармоники не более 5% (минус 26 dB).

Допускаемое значение паразитной амплитудной модуляции в режиме немодулированных колебаний на основном выходе генератора не превышает 0,25%.

Коэффициент стоячей волны K_{cmU} напряжения по основному выходу генератора на частотах свыше 30 МГц не превышает 1,20. При этом обеспечивается номинальное значение выходного сопротивления генератора (50 ± 5) Ом.

Выходное напряжение по некалиброванному выходу на полной нагрузке (50 ± 5) Ом не менее 1 В. Наибольшее напряжение по некалиброванному выходу не превышает 3 В. Параметры выходного напряжения на этом выходе не гарантируются.

Параметры амплитудной синусоидальной модуляции (АМ-параметры):

Амплитудная модуляция сигнала осуществляется от внутреннего источника модуляции частотой 1000 Гц с погрешностью $\pm 10\%$ и частотами от 50 до 15000 Гц от внешнего источника модуляции. При этом частота модуляции от внешнего источника должна быть не более $0,02f_n$.

Коэффициент амплитудной модуляции регулируется в номинальных пределах от 0 до 90% и отсчитывается в пределах от 10 до 80% ступенями по 10% во всём диапазоне модулирующих и несущих частот, с учётом требований п. 1.3.18. Основная погрешность установки коэффициента амплитудной модуляции при частоте модулирующего сигнала (1000 ± 100) Гц (в процентах модуляции) не превышает $\pm 10\%$.

Погрешность установки коэффициента модуляции в диапазоне модулирующих частот (в процентах модуляции) не более $\pm 15\%$.

Дополнительная погрешность установки коэффициента модуляции при изменении окружающей температуры на каждые 10 °С в пределах рабочих условий не превышает $\pm 3\%$ (в процентах модуляции).

Коэффициент гармоник огибающей амплитудно-модулированного сигнала при коэффициенте модуляции до 80% включительно (по шкале генератора) не превышает $\pm 5\%$ в нормальных условиях эксплуатации. Коэффициент гармоник внешнего модулирующего сигнала при этом должен быть не более 1%.

7.4. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ С ПРИБОРОМ

По требованиям электробезопасности прибор удовлетворяет нормам ОСТ 4.275.003–77 класса защиты 01.

Генератор Г4-102 является полностью транзисторным прибором. Высокие напряжения в нём не используются за исключением сетевого напряжения на первичной обмотке сетевого трансформатора и напряжения питания неоновой индикаторной лампочки.

При работе корпус прибора требуется заземлить, для заземления используется клемма на передней панели генератора.

7.5. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

7.5.1. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ

Органы управления прибором сосредоточены на передней панели, как показано на рисунке 9.



Рис. 9. Передняя панель высокочастотного измерительного генератора Г4-102

Тумблер включения сети «СЕТЬ» и индикаторная лампочка расположены в правом верхнем углу панели. В левом верхнем углу расположены кнопки контроля питания $V_{\text{пит}}$ и выходного напряжения $V_{\text{вых}}$ с индикаторным прибором. Под ними, сверху вниз, располагаются ручка «УРОВЕНЬ МОДУЛ.», переключатель «М%», приборная коаксиальная розетка ввода внешнего модулирующего сигнала «АМ» и тумблер режима модуляции «ВНЕШН. – ВНУТР.».

Центральную часть панели занимает шкала отсчета частоты, кнопки переключателя поддиапазонов и ручка «УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ МГц».

В правом нижнем углу панели расположены приборные коаксиальные розетки «ВЫХОД» дополнительного (1 В) и основного (μV) каналов с соответствующими тумблерами включения высокой частоты («ВКЛ.») и ручками регулировки выходного напряжения по основному каналу. Большая ручка в виде обода с внешней рельефной накаткой обеспечивает ступенчатую регулировку через 10 дБ, а расположенная внутри нее обычная маленькая – плавную в пределах 10 дБ.

На задней панели генератора расположен тумблер переключения питания от сети 220 В, 50 Гц и 115 В, 400 Гц.

7.5.2. ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИБОРА

Перед включением необходимо привести в соответствие положения переключателя напряжения и частоты сети с параметрами сети питания. Генератор Г4-102 поставляется с переключателем установленным для работы от сети 220 В, 50 Гц.

7.5.3. ПРИЗНАКИ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Об исправной работе прибора свидетельствуют следующие признаки:

- при нажатии кнопки $V_{\text{пит}}$ в режиме НГ стрелка индикатора отклоняется до соответствующего сектора на шкале индикатора;
- при нажатии кнопки $V_{\text{вых}}$ в режиме НГ, включении тумблера основного канала « μV » и четвёртого поддиапазона стрелка индикатора может быть выставлена в соответствующий сектор ручкой плавной регулировки выходного напряжения, при этом должна быть введена одна ступень встроенного ступенчатого аттенюатора, или подключена к выходу нагрузка 50 Ом;
- при включении тумблера режима модуляции в положении «ВНУТР.» стрелка индикатора отклоняется и положение её регулируется вращением ручки «УРОВЕНЬ МОДУЛ.» на риску «К» (50 мкА).

7.6. РАБОТА С ПРИБОРОМ

7.6.1. ОПЕРАЦИИ ПРИ РАБОТЕ С ПРИБОРОМ

Работа с прибором складывается, в основном, из трёх операций:

- установка частоты;
- установка величины выходного сигнала;
- установка коэффициента модуляции.

7.6.2. УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ

Необходимое значение частоты устанавливается включением одного из указанных ниже поддиапазонов нажатием кнопки переключателя и ручкой «УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ МГц»:

0,10...0,20 МГц;
0,20...0,40 МГц;
0,40...0,80 МГц;
0,80...2,00 МГц;
2,00...5,00 МГц;
5,00...12,50 МГц;
12,50...25,00 МГц;
25,00...50,00 МГц.

Выключение данного поддиапазона частоты производится вторичным нажатием этой же кнопки переключателя «УСТАНОВКА ЧАСТОТЫ МГц». При этом должен быть включен выход « μV » или «1 V».

7.6.3. УСТАНОВКА ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Произвести операцию установки частоты п. 1.6.2. Операция выполняется только по основному каналу. Она осуществляется двумя ручками – ступенчатой и плавной регулировки. Отсчёт установленного значения в микровольтах производится по соответствующим шкалам – при красном множителе по красной, внутренней шкале, при чёрном – по чёрной, внешней шкале.

Правильность отсчёта гарантируется при работе на согласованную 50-омную нагрузку.

Для получения уровней сигнала меньше 0,5 мкВ используется выносной аттенюатор, который включается на конце выходного кабеля прибора. Он даёт дополнительное ослабление в 20 дБ и кроме того, может быть использован для перехода на 75-омную нагрузку, 7-омный выход предназначен для работы на высокоомную нагрузку.

Нажимать на кнопку « $V_{\text{вых}}$ » не следует, так как при нажатой кнопке выходное напряжение не будет соответствовать значениям, обозначенным на ручке и лимбе аттенюаторов. Кнопка « $V_{\text{вых}}$ » используется только для проверки работоспособности прибора.

8. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Для выполнения домашнего задания необходимо изучить материал соответствующих лекций и следующие разделы по литературе:

- структурные схемы аналоговых вольтметров [1, с. 190-197];
- цифровой метод измерения частоты [1, с. 280-284];
- генераторы гармонических колебаний [1, с.218-225];
- универсальные осциллографы [1, с. 246-259];
- техническое описание и инструкция по эксплуатации (ТО и ИЭ) генератора Г4-102;
- техническое описание и инструкция по эксплуатации милливольтметра В3-42;
- инструкции по эксплуатации частотомера VC-2000;
- техническое описание и инструкция по эксплуатации осциллографа С1-65А.

При этом следует обратить внимание на физический смысл таких понятий, как выбег частоты, стабильность частоты от времени, точность установки частоты генератора, аттенюатор выходного напряжения, амплитудная модуляция.

9. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Лабораторное задание состоит из следующих пунктов.

1. Определение выбега частоты
2. Определение стабильности частоты от времени

3. Определение точности установки частоты генератора
4. Определение уровня выходного напряжения
5. Проверка ступенчатого аттенюатора
6. Установка уровня установки глубины модуляции

9.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБЕГА ЧАСТОТЫ

Изменение частоты при прогреве генератора называется выбегом частоты.

Соединить кабелем основной выход генератора Г4-102 «μV» со входом «В» частотомера VC-2000. Выставить на аттенюаторе ручками ступенчатой и плавной регулировки максимальное напряжение на выходе генератора Г4-102 «μV» - 5×10^5 мкВ или 0,5 В эффективного (среднеквадратического) значения. Включить тумблер «μV».

Включить частотомер VC-2000 на 3 диапазоне (измерение частоты в кГц), осциллограф С1-65А и милливольтметр ВЗ-42, и дать им прогреться в течении не менее 15 минут.

Выставить любую частоту генератора Г4-102 в середине 7-го поддиапазона

Включить генератор Г4-102 и измерить частоту генератора Г4-102 частотомером VC-2000 сразу после включения, время начала измерения выбега частоты t_0 равно нулю.

Провести последующие измерения частоты от момента включения через $t_1 = 1$ мин, $t_2 = 3$ мин, $t_3 = 5$ мин, $t_4 = 10$ мин, $t_5 = 15$ мин, $t_6 = 20$ мин, $t_7 = 25$ мин и $t_8 = 30$ мин. Данные внести в таблицу 7.

Таблица 7

Изменение частоты генератора при самопрогреве

t, мин	0	1	3	5	10	15	20	25	30
f, кГц	13986,179	13986,082	13985,875	13985,837	13985,834	13985,798	13985,790	13985,716	13985,666

По данным таблицы 7 построить график $f = \varphi(t)$. График представить на рисунке 1 – Выбег частоты генератора Г4-102.

В течение 30 минут частота генератора уменьшилась на величину

$$\Delta f = f_{\max} - f_{\min} = 13986,179 - 13985,666 = 0,513 \text{ кГц.}$$

Скорость изменения частоты будет равна

$$\Delta f / \Delta t = 513 \text{ Гц} / 30 \approx 17 \text{ Гц} / \text{мин}$$

При проведении последующих измерений генератор Г4-102 все время должен находиться во включенном состоянии.

9.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ОТ ВРЕМЕНИ ПРИ ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

После того как генератор прогрелся измеряем стабильность частоты от времени. Через равные промежутки времени, например через 3 минуты, измеряем частоту при помощи частотомера VC-2000 в течении 15 минут.

Измерения проводятся на трех поддиапазонах (в первом, четвертом и седьмом) в их середине. Данные заносятся в таблицу 8.

Таблица 8

Изменение частоты в течении 15 минут после самопрогрева

Номер поддиапазона	Время измерения, мин	0	3	6	9	12	15
Первый	f, кГц	141,811	141,812	141,812	141,813	141,814	141,815
Четвертый	f, кГц	1172,660	1172,650	1172,627	1172,609	1172,597	1172,569
Седьмой	f, кГц	13985,902	13985,875	13985,851	13985,834	13985,812	13985,798

По данным таблицы 8 строятся три графика $f = \varphi(t)$. Графики представить на рисунках 2, 3 и 4. Например: Рисунок 2 - Зависимость частоты от времени генератора Г4-102 для седьмого поддиапазона генератора Г4-102.

Сравниваются результаты измерения с паспортными данными, представленными в инструкции по эксплуатации (ИЭ). Для этого, сначала, рассчитывают предельно допустимый уход частоты $\Delta f_{\max}$, Гц для каждого поддиапазона по формуле

$$\Delta f_{\max} = (0,25 \cdot 10^{-3} f_{\text{нес}} + 50),$$

где $f_{\text{нес}}$ - частота несущей, кГц.

Затем по данным таблицы 2 определяют изменение частоты за 15 минут

$$\Delta f = f_{\max} - f_{\min}.$$

Далее определяют разницу между экспериментальной и предельно допустимой нестабильностью частоты ($\Delta f_{\max} - \Delta f$) в Гц и относительную нестабильность частоты по отношению к предельно допустимой

$$\frac{\Delta f}{\Delta f_{\max}} \cdot 100\%.$$

Полученные результаты сравнения реальной и предельно допустимых сравнений нестабильности заносим в таблицу 9.

Таблица 9

Сравнительный анализ экспериментальной и предельно допустимой неустойчивости

Номер поддиапазона	Предельно допустимая неустойчивость частоты, Гц $\Delta f_{\max} = (0,25 \cdot 10^{-3} f_{\text{нес.}} + 50)$	Экспериментально полученная неустойчивость частоты, Гц $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$	Разница между экспериментальной и предельно допустимой неустойчивостью частоты, Гц $\Delta f_{\max} - \Delta f$	Отношение экспериментальной к предельно допустимой неустойчивости в относительных единицах, % $\frac{\Delta f}{\Delta f_{\max}} \cdot 100\%$
Первый	85	4	81	5
Четвертый	343	91	252	27
Седьмой	3496	104	3392	3

Скорость изменения частоты на 7 поддиапазоне будет равна $\Delta f / \Delta t = 104 \text{ Гц} / 15 \approx 7 \text{ Гц} / \text{мин}$, что более чем в 2 раза меньше чем при самопрогреве.

9.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА

Определение точности установки частоты генератора проводится с целью проверки градуировки шкалы генератора Г4-102 и субъективных возможностей оператора при установке стрелки в соответствующую точку шкалы. Градуировка шкалы на разных поддиапазонах разная, поэтому определение точности установки частоты генератора проводится как минимум на трех поддиапазонах, например - на первом, на четвертом и седьмом. Частоты выбираем в середине этих поддиапазонов.

Ориентируясь на шкалу прибора, устанавливаем частоту. В первом случае устанавливаем частоту по градуировочным рискам шкалы, а в другом случае - между рисками. Таким образом, на каждом поддиапазоне проводим два измерения. Проверяем частоту при помощи частотомера VC-2000. Определяем разницу этих частот и относительную погрешность для каждого случая.

Сравниваются результаты расчета с паспортными данными, представленными в инструкции по эксплуатации (ИЭ). В этом случае точности установки частоты генератора должна быть не хуже, чем $\pm 1 \%$.

По окончании измерений отключить выходное напряжение тумблером « μV ».

Результаты измерения заносим в таблицы 10 и 11.

Таблица 10

Анализ точности установки частоты генератора по рискам шкалы

Номер поддиапазона	Установленная частота по шкале генератора $F, \text{кГц}$	Показания частотомера $f_0, \text{кГц}$	Разница между установленной частотой по шкале генератора и показания частотомера $\Delta f = f - f_0, \text{кГц}$	Относительная погрешность установки $\delta f = \frac{\Delta f}{f_0} \cdot 100\%$	Сравнение относительной и предельно допустимой δf_{np} погрешностей $\frac{\delta f}{\delta f_{np}} \cdot 100\%$
Первый	130	130,065	0.065	0.05	5
Четвертый	1050	1053,723	3,723	0,035	3.5
Седьмой	14000	13988,51	12,49	0,09	9

Таблица 11

Анализ точности установки частоты генератора между рисками шкалы

Номер поддиапазона	Установленная частота по шкале генератора $f, \text{кГц}$	Показания частотомера $f_0, \text{кГц}$	Разница между установленной частотой по шкале генератора и показания частотомера $\Delta f = f - f_0, \text{кГц}$	Относительная погрешность установки $\delta f = \frac{\Delta f}{f_0} \cdot 100\%$	Сравнение относительной и предельно допустимой δf_{np} погрешностей $\frac{\delta f}{\delta f_{np}} \cdot 100\%$
Первый	125	125,082	0.082	0.07	7
Четвертый	1100	1105,654	5,654	0.05	5
Седьмой	13500	12510,12	10,12	0,07	7

Среднее значение сравнительной точности установки частоты по рискам шкалы равно 5,8 %, а для случая установки между рисок – 6,3 %

9.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Измерение выходного напряжения, в нашем случае, проводится в отсутствии нагрузочного резистора 50 Ом. Поэтому градуировка напряжения, которая приведена в среднеквадратических значениях на шкале аттенюатора, в два раза меньше, чем в нашем случае. То есть при установке выходного напряжения в 0,5 В эфф. на выходе мы имеем 1 В эфф. или среднеквадратического значения.

Нуль логарифмической шкалы милливольтметра В3-42 в дБ соответствует эффективному напряжению 0,775 В. При этом напряжении на нагрузке 600 Ом выделяется мощность 1 мВт. Такая градация логарифмической шкалы пришла от проводной телефонии, где стандартное волновое сопротивление линии связи составляет 600 Ом.

Следует помнить, что верхняя рабочая частота милливольтметра ВЗ-42 согласно ИЭ равна 5 МГц. Поэтому проверять уровень выходного напряжения генератора Г4-102 можно только для пяти низкочастотных поддиапазонов.

Погрешность установки уровня выходного напряжения генератора Г4-102 определяется в основном погрешностью опорного уровня напряжения внутри генератора, которая согласно ИЭ (с.6) не должна превышать ± 1 дБ. Погрешность установки уровня выходного напряжения в децибелах $\delta, \text{дБ}$ определяется по формуле

$$\delta, \text{дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{изм}}}{2 \cdot U_{\text{атт}}},$$

где $U_{\text{атт}}$ - напряжение, установленное по шкале аттенюатора; $U_{\text{изм}}$ - измеренное напряжение милливольтметром ВЗ-42.

При практических измерениях погрешность установки уровня выходного напряжения в децибелах $\delta, \text{дБ}$ определяется непосредственно как разница установленного $U_{\text{атт lg}}$ и измеренного $U_{\text{вых lg}}$ значений по логарифмической шкале с учетом положения переключателя в дБ

$$\delta, \text{дБ} = 20 \lg \frac{U_{\text{изм}}}{2 \cdot U_{\text{атт}}} = 20 \lg \frac{\frac{U_{\text{изм}}}{U_0}}{2 \cdot \frac{U_{\text{атт}}}{U_0}} = 20 \lg \frac{U_{\text{изм}}}{U_0} - 20 \lg \frac{2U_{\text{атт}}}{U_0} = U_{\text{изм lg}} - 2U_{\text{атт lg}},$$

где U_0 - напряжение, соответствующее нулю логарифмической шкалы милливольтметра ВЗ-42 (0,775 В).

Провести калибровку милливольтметра ВЗ-42 согласно ИЭ. Установить переключатель предела измерения в положение 3 В (+10 дБ).

Соединить кабелем основной выход генератора Г4-102 « μV » со входом милливольтметра ВЗ-42. Проверить, что выставлено максимальное напряжение на выходе генератора Г4-102 « μV » - 0,5 В. Тогда выходное напряжение без 50-и омной нагрузки должно быть 1 В эфф.

Включить осциллограф С1-65А. Добиться появления луча горизонтальной развертки осциллографа С1-65А в режиме внутренней синхронизации согласно указаниям ИЭ этого прибора. Установить режим измерения с закрытым входом, чувствительность по вертикальному отклонению 0,5 В/дел., время развертки -0,1 мкс/дел.

Соединить кабелем выход милливольтметра ВЗ-42 (на задней панели прибора) со входом вертикального усилителя осциллографа С1-65А.

Установить среднюю частоту на пятом поддиапазоне.

Включить выходное напряжение тумблером « μV ».

Ручками оперативной регулировки осциллографа добиться присутствия на экране осциллографа от 2 до 3 периодов сигнала с максимально возможной амплитудой до ограничения луча. Оценить степень искажения сигнала так как

при сильном искажении синусоиды будет несоответствие шкалы аттенюатора и показаний милливольтметра ВЗ-42.

Провести отсчет уровня выходного напряжения по шкале прибора ВЗ-42. Наибольшая точность измерения имеет место во второй половине шкалы ближе к максимальному значению. Поэтому при необходимости нужно переключиться на более низкий предел измерения, в нашем случае на 1 В (0 дБ).

Измерить погрешность измерения по логарифмической шкале.

Выключить выходное напряжение тумблером « μV ».

Ручкой плавной регулировки выходного напряжения аттенюатора генератора Г4-102 установить по шкале аттенюатора 1×10^5 мкВ, что без 50-и омной нагрузки соответствует напряжению 0,2 В эфф.

Установить предел измерения 0,3 В (минус 10 дБ) милливольтметра ВЗ-42. При необходимости проверить установку нуля прибора милливольтметра ВЗ-42.

Включить выходное напряжение генератора Г4-102 тумблером « μV ».

Ручками оперативной регулировки осциллографа добиться присутствия на экране осциллографа от 2 до 3 периодов сигнала с максимально возможной амплитудой до ограничения луча. Оценить степень искажения сигнала.

Провести отсчет уровня выходного напряжения по шкале прибора ВЗ-42.

Измерить погрешность измерения по логарифмической шкале милливольтметра ВЗ-42.

Выключить выходное напряжение тумблером « μV ».

Ручкой плавной регулировки выходного напряжения аттенюатора генератора Г4-102 установить по шкале аттенюатора 3×10^5 мкВ, что без 50-и омной нагрузки соответствует напряжению 0,6 В эфф.

Установить предел измерения 1 В (0 дБ) милливольтметра ВЗ-42. При необходимости проверить установку нуля прибора милливольтметра ВЗ-42.

Включить выходное напряжение тумблером « μV ».

Ручками оперативной регулировки осциллографа добиться присутствия на экране осциллографа от 2 до 3 периодов сигнала с максимально возможной амплитудой до ограничения луча. Оценить степень искажения сигнала.

Провести отсчет уровня выходного напряжения по шкале прибора ВЗ-42.

Измерить погрешность измерения по логарифмической шкале милливольтметра ВЗ-42.

Выключить выходное напряжение тумблером « μV ».

Установить среднюю частоту на третьем поддиапазоне.

Установить предел измерения 3 В (+10 дБ) милливольтметра ВЗ-42. При необходимости проверить установку нуля прибора милливольтметра ВЗ-42.

Выполнить операции согласно подпунктам 3.3.6 ÷ 3.3.24

Установить среднюю частоту на первом поддиапазоне.

Установить предел измерения 3 В (+10 дБ) милливольтметра ВЗ-42. При необходимости проверить установку нуля прибора милливольтметра ВЗ-42.

Выполнить операции согласно подпунктам 3.3.6 ÷ 3.3.24

Результаты измерения свести в таблицу 12.

Таблица 12

Результаты измерений и расчетов для пункта 3.4

Поддиапазон	Первый			Третий			Пятый		
Частота, кГц									
U_{amm} , В	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5
$2U_{amm}$, В	0,2	0,6	1	0,2	0,6	1	0,2	0,6	1
$U_{изм}$, В									
$\Delta U = 2U_{amm} - U_{изм}$, В									
$\delta U = \Delta U / 2U_{amm}$, %									
$U_{\hat{a} \hat{o} \hat{o} \lg} = 20 \lg(2U_{amm}/U_0)$, дБ									
$U_{\hat{e} \hat{c} \hat{i} \lg} = 20 \lg(U_{изм}/U_0)$, дБ									
$\delta, \hat{a} \hat{A} = U_{\hat{a} \hat{u} \hat{o} \hat{l} \lg} - U_{\hat{a} \hat{o} \hat{o} \lg}$, дБ									

Относительная погрешность согласно ИЭ (с.18) не должна превышать 12 %.

9.5. ПРОВЕРКА СТУПЕНЧАТОГО АТТЕНЮАТОРА

Установить предел измерения 1 В (0 дБ) милливольтметра В3-42. При необходимости проверить установку нуля прибора милливольтметра В3-42.

Ручкой ступенчатой регулировки выходного напряжения аттенюатора генератора Г4-102 установить по шкале аттенюатора красного цвета сектор « $\times 10^5$ мкВ».

Ручкой плавной регулировки выходного напряжения аттенюатора генератора Г4-102 установить по шкале аттенюатора 3×10^5 мкВ, что без 50-и омной нагрузки соответствует напряжению 0,6 В эфф.

Установить среднюю частоту генератора Г4-102 на пятом поддиапазоне.

Включить выходное напряжение генератора Г4-102 тумблером « μV ».

Ручками оперативной регулировки осциллографа С1-65А добиться присутствие на экране осциллографа от 2 до 3 периодов сигнала с максимально возможной амплитудой до ограничения луча. Оценить степень искажения сигнала.

Уменьшить чувствительность усилителя вертикального осциллографа на $20 \div 30$ %.

Ручкой плавной регулировки выходного напряжения аттенюатора генератора Г4-102 установить по логарифмической шкале милливольтметра В3-42 ноль дБ, что соответствует напряжению 0,775 В эфф.

Уменьшить выходное напряжение на один шаг ступенчатого переключателя аттенюатора, что соответствует уменьшению выходного напряжения на 10 дБ (несколько больше, чем в 3 раза).

Установить переключатель предела измерения милливольтметра В3-42 в положение 300 мВ или минус 10 дБ.

Провести отчет реально измеренного ослабления выходного напряжения по логарифмической шкале $U_{\text{измдБ}}$ согласно выражению

$$U_{\text{измдБ}} = U_{\text{max.исх. дБ}} + U_{\text{max.кон.дБ}} + \Delta U_{\text{шк. дБ}},$$

где $U_{\text{max.исх. дБ}}$ - предел измерения до изменения уровня выходного напряжения, дБ; $U_{\text{max.кон.дБ}}$ - предел измерения после изменения уровня выходного напряжения, дБ; $\Delta U_{\text{шк. дБ}}$ – отклонение от нуля дБ по шкале прибора, дБ.

Для рассматриваемого случая отчет реально измеренного ослабления выходного напряжения по логарифмической шкале $U_{\text{изм10дБ}}$ вычисляется согласно выражению

$$U_{\text{изм10дБ}} = 0 - 10 + \Delta U_{\text{шк. дБ}}.$$

Уменьшить выходное напряжение еще на один шаг ступенчатого переключателя аттенюатора, что должно уменьшать исходное (0дБ) выходного напряжения на 20 дБ (около 10 раз).

Установить переключатель предела измерения в положение 100 mV или минус 20 дБ. Проконтролировать форму сигнала и наличие шумов.

Провести отчет реально измеренного ослабления выходного напряжения по логарифмической шкале $U_{\text{изм20дБ}}$ согласно выражению

$$U_{\text{изм20дБ}} = 0 - 20 + \Delta U_{\text{шк. дБ}}.$$

Выполнить операции по подпунктам 3.5.12 ÷ 3.5.14 для остальных шагов уменьшения выходное напряжение ступенчатым переключателем аттенюатора пока сигнал на экране осциллографа хорошо различим на уровне шумов.

Аналогичные измерения проведите для средних частот поддиапазонов 1 и 3.

Погрешность изменения уровня выходного напряжения при помощи ступенчатого переключателя аттенюатора определяется как разница между заявленным значением $\Delta U_{\text{аттлг}}$ и реальным $\Delta U_{\text{измлг}}$ по логарифмической шкале

$$\text{Погрешность} = \Delta U_{\text{аттлг}} - \Delta U_{\text{измлг}}.$$

Результаты измерения и расчеты при проверке ступенчатого аттенюатора внести в таблицу 13.

Результаты измерений и расчетов для пункта 3.5

Поддиапазон		Первый			Третий			Пятый		
Частота, кГц										
$U_{амплг},$ дБ	$\Delta U_{амплг},$ дБ	$U_{измг},$ дБ	$\Delta U_{измг},$ дБ	Погреш- ность, дБ	$U_{измг},$ дБ	$\Delta U_{измг},$ дБ	Погреш- ность, дБ	$U_{измг},$ дБ	$\Delta U_{измг},$ дБ	Погреш- ность, дБ
0		0			0			0		
10	10									
20	10									
30	10									
40	10									
50	10									
60	10									
70	10									
80	10									

Согласно ИЭ (с.19) погрешность при ступенчатом ослаблении сигнала не должна превышать 1,5 дБ.

9.6. УСТАНОВКА УРОВНЯ ГЛУБИНЫ МОДУЛЯЦИИ

Эта операция производится двумя ручками. В первом случае ручкой потенциометра опорного уровня модуляции стрелка индикатора устанавливается в положение на риску «К». При работе от внешнего источника модулирующего сигнала эту операцию можно осуществлять регулятором его выходного напряжения. При работе в диапазоне модулирующих частот установку опорного значения необходимо делать в соответствии с графиком поправок. Необходимая глубина модуляции устанавливается переключателем «ГЛУБИНА МОД %».

Переход от режима внутренней модуляции к режиму модуляции от внешнего источника выполняется переключением тумблера «ВНУТР.-ВНЕШН».

На рисунках 10 – 13 представлены результаты измерений при разных уровнях модуляции, а на рисунках 14, 15 при разных частотах сигнала.

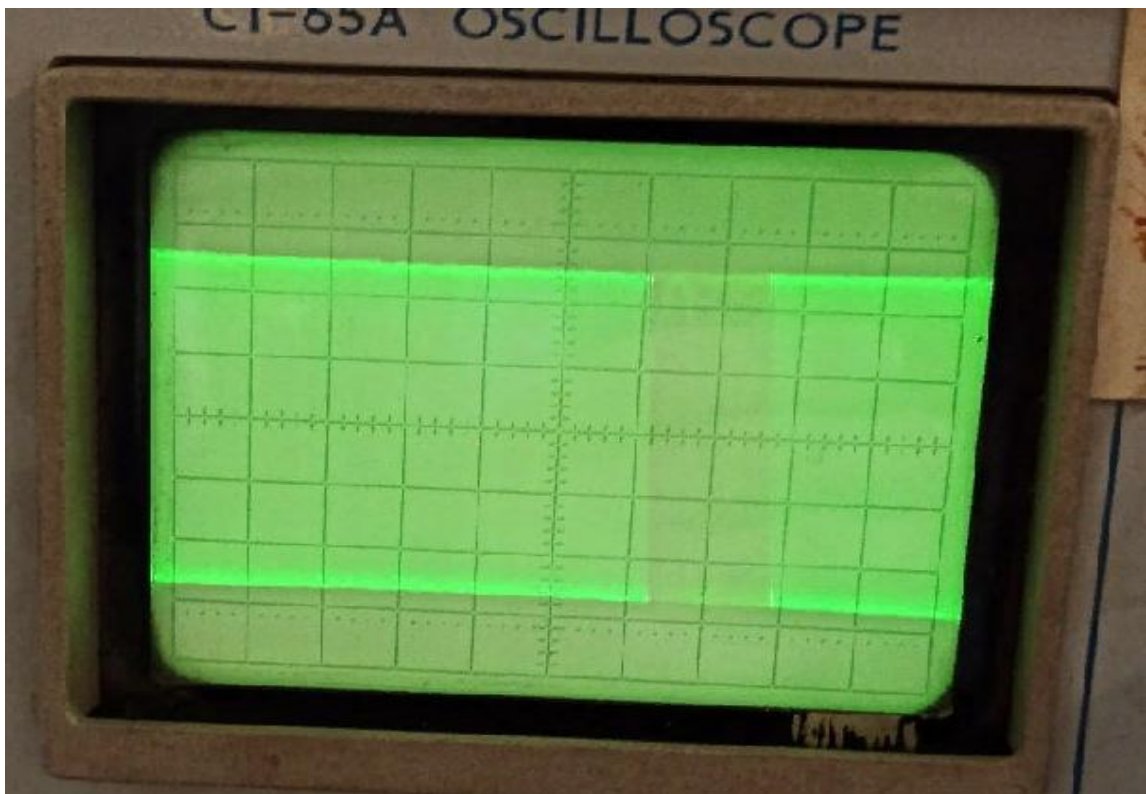


Рис. 10. Результаты измерений при уровне модуляции 0%

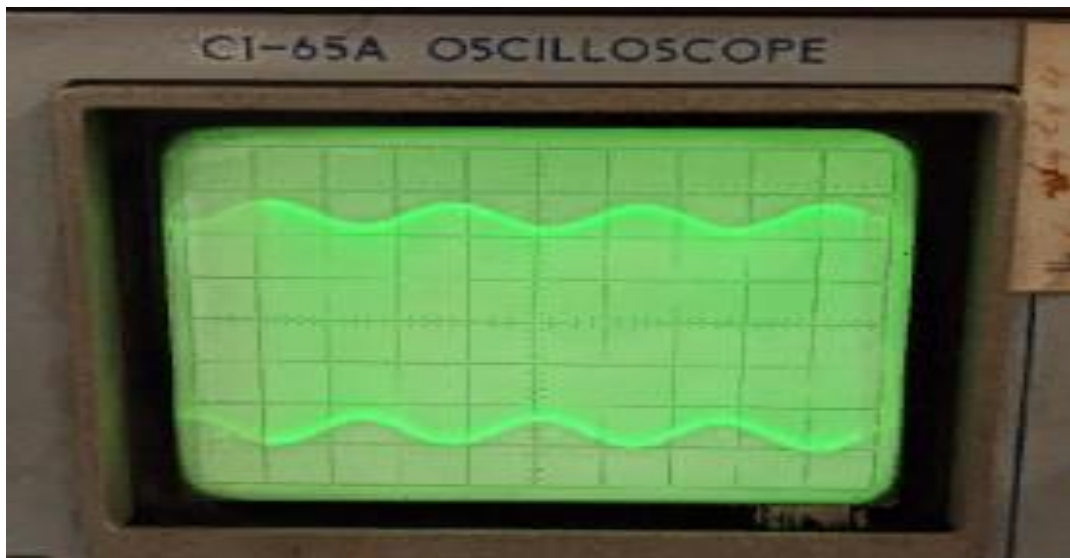


Рис. 11. Результаты измерений при уровне модуляции 20%



Рис. 12. Результаты измерений при уровне модуляции 50%



Рис. 13. Результаты измерений при уровне модуляции 100%

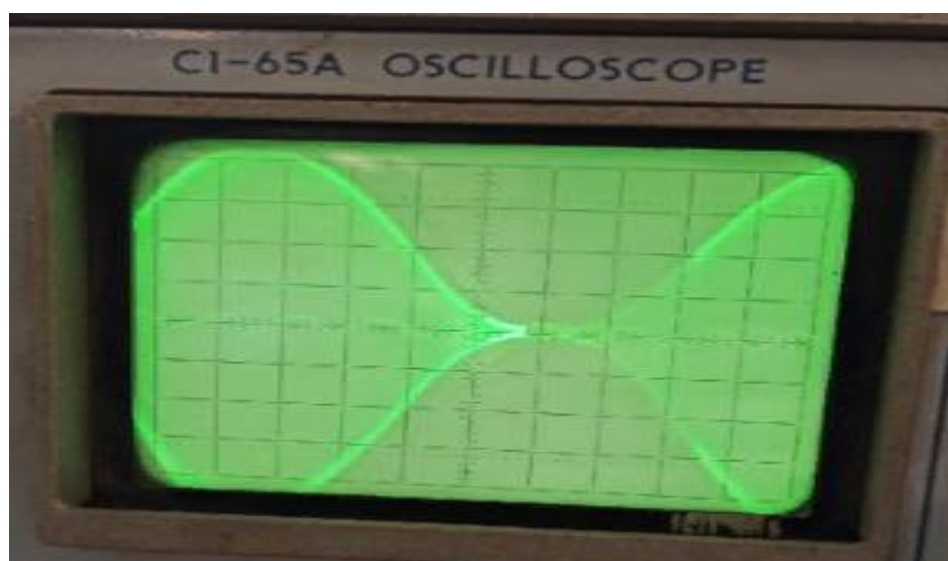


Рис. 14. Результаты измерений при уровне модуляции 100% и частоте 1 кГц



Рис. 15. Результаты измерений при уровне модуляции 100% и частоте 15 кГц

Выводы по результатам выполнения лабораторной работы.

В режиме самопрогрева сразу после включения генератора стабильность частоты более, чем в 2 раза меньше, чем в рабочем режиме, что объясняется температурной нестабильностью частотозадающих элементов колебательного контура задающего генератора и относительно высокой скоростью изменения температуры. В рабочем режиме скорость изменения температуры существенно меньше.

В режиме самопрогрева сразу после включения генератора частота уменьшается. Такое бывает в случае увеличения емкости и (или) индуктивности колебательного контура. Конденсаторы постоянной емкости, входящие в состав колебательного контура имеют обычно отрицательный температурный коэффициент емкости, поэтому их вклад в температурную нестабильность имеет противоположный эффект. Остается предположить, что процесс уменьшения частоты определяется элементами колебательного контура с положительным температурным коэффициентом, к которым относятся катушка и конденсатор переменной емкости.

Коэффициент перекрытия по частоте на первом поддиапазоне меньше, чем для четвертого и седьмого поддиапазонов. Поэтому коэффициент влияния температурной нестабильности переменного конденсатора на частоту для первого диапазона тоже меньше, чем для более высокочастотных. А это может быть только за счет увеличения коэффициентов влияния температурной нестабильности постоянных конденсаторов, у которых отрицательный температурный коэффициент. Предположительно, поэтому на первом поддиапазоне частота со временем слабо растет, потому, что даже в рабочем режиме температура слабо, но растет.

Точность установки частоты по шкале генератора гораздо выше заявленной. Погрешность установки частоты не превышает 10 % от заявленной.

Точность установки частоты по рискам, согласно антропологическим параметрам человека, должна быть существенно выше, чем при установке

между рисками. Однако эксперимент этого не подтвердил. Остается предположить, что положение риск не соответствует частоте, которую они отражают.

Параметры ступенчатого и плавного аттенюаторов соответствуют заявленным требованиям по точности установки выходного напряжения генератора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные методические указания направлены на изучение различных видов напряжений и способов измерения их параметров. Также рассматриваются основные принципы работы высокочастотного генератора Г4-102.

При необходимости углубить теоретические знания по рассмотренным темам следует обратиться к библиографическому списку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нефедов В.И. Метрология и радиоизмерения: учебник для вузов / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Бирюков [и др.]; ред. В.И. Нефедов – 2 изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2006 – 526 с.
2. Муратов А. В. Метрология, стандартизация и технические измерения: учебное пособие / А. В. Муратов – Воронеж. гос. техн. ун-т. – Воронеж: [б. и.], 2011 (Воронеж, 2011). - 245 с.
3. Димов Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник: допущено МО РФ / Ю.В. Димов – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2010 (СПб. : Печатный двор им. А. М. Горького, 2005). – 432 с.
4. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: учебник для вузов: допущено МО РФ / под ред. В. И. Нефедова, А. С. Сигова. – изд. 3-е, перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 2005 (Смоленск : Смоленская обл. типография им. В. И. Смирнова, 2005). – 598 с.
5. Афонский А. А. Измерительные приборы и массовые электронные измерения: справочник / А. А. Афонский, В. П. Дьяконов – М., СОЛОН-ПРЕСС, 2007 г., - 541 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Лабораторная работа №3. Измерение разных видов напряжений	3
2. Теоретические сведения	4
3. Исследование сигнала синусоидальной формы	7
4. Исследование сигнала в форме меандра	9
5. Исследование переменного напряжения в форме прямоугольных импульсов отличных от меандра	11
6. Исследование переменного пилообразного напряжения	13
7. Лабораторная работа №4. Изучение высокочастотного генератора Г4-10215	
7.1. Цель работы	15
7.2. Краткие сведения об объекте исследования	16
7.2.1 Краткое описание генератора	16
7.3. Технические характеристики	16
7.4. Меры безопасности и общие указания по работе с прибором	18
7.5. Подготовка прибора к работе	19
7.5.1. Органы управления	19
7.5.2. Включение прибора	20
7.5.3. Признаки нормальной работы	20
7.6. Работа с прибором	20
7.6.1. Операции при работе с прибором	20
7.6.2. Установка частоты	20
7.6.3. Установка выходного напряжения	21
8. Домашнее задание и методические указания по его выполнению	21
9. Лабораторное задание и методические указания по его выполнению	21
9.1. Определение выбега частоты	22
9.2. Определение стабильности частоты от времени при постоянной температуре	23
9.3. Определение точности установки частоты генератора	24
9.4. Определение уровня выходного напряжения	25
9.5. Проверка ступенчатого аттенюатора	28
9.6. Установка уровня глубины модуляции	30
Заключение	34
Библиографический список	35

Метрология и радиоизмерения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению лабораторных работ № 3, 4
для студентов специальности 11.05.01
«Радиоэлектронные системы и комплексы»
очной формы обучения*

Составитель
Худяков Юрий Васильевич

В авторской редакции

Подписано к изданию 14.09.2022.
Уч.-изд. л. 2,0.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84