

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ,
ИНФОРМАТИЗАЦИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Технологии
мобильной связи»

УСТРОЙСТВА ПРИЁМА СИГНАЛОВ В МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

*Сборник лабораторных работ и методические указания
по их выполнению*

Ташкент - 2014

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Устройства приёма сигналов в мобильных системах связи» является одной из профилирующих при подготовке бакалавров по направлению образования 5311400 - «Мобильные системы связи».

Для овладения материалом курса необходимы прочные знания по таким общенаучным и общетехническим курсам как физика, высшая математика, теория линейных цепей, электроника, схемотехника, усилительные устройства, теория электрической связи, радиотехнические цепи и сигналы.

Студент, овладевший материалом курса должен:

- знать принципы построения, элементную и базу и особенности функционирования усилительных устройств;
- знать структурные схемы радиоприемных устройств (РПрУ) разных типов и принципиальные схемы каскадов РПрУ, основные технические характеристики РПрУ и их зависимость от структуры РПрУ и характеристик его каскадов;
- понимать принцип действия всех каскадов РПрУ, зависимость характеристик каскадов РПрУ от элементов, входящих в состав каждого каскада;

Настоящие методические указания включают в себя методики проведения восьми лабораторных работ, которые состоят из трех виртуальных работ, выполняемых на компьютере и пяти работ, выполняемых на специальной учебной установке.

Требования к компьютеру:

- операционная система – Windows XP, Windows 7;
- свободное место на жестком диске для программ – около 5 Мб; - установленный программный модуль - .NET Framework v1.1.

Выполнение лабораторных работ складывается из трех этапов: подготовки к работе, экспериментальной части, анализа полученных результатов. Цель методических указаний состоит в оказании помощи студентам при подготовке к работе, в проведении расчетов, измерений и анализе результатов. Методические указания также содержат схемы основных узлов учебной установки, поверочных расчетов и формулы, используемых при снятии экспериментальных данных.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы

1. Изучение широкополосного усилителя на биполярном транзисторе с высокочастотной индуктивной коррекцией.
2. Исследование влияния элементов схемы на амплитудночастотную характеристику каскада.

Последовательность выполнения работы

Программа запускается двойным нажатием мышки на файл “Issled_shirokopol_usil.exe”. Вид исследуемого каскада приведен на рис.1.

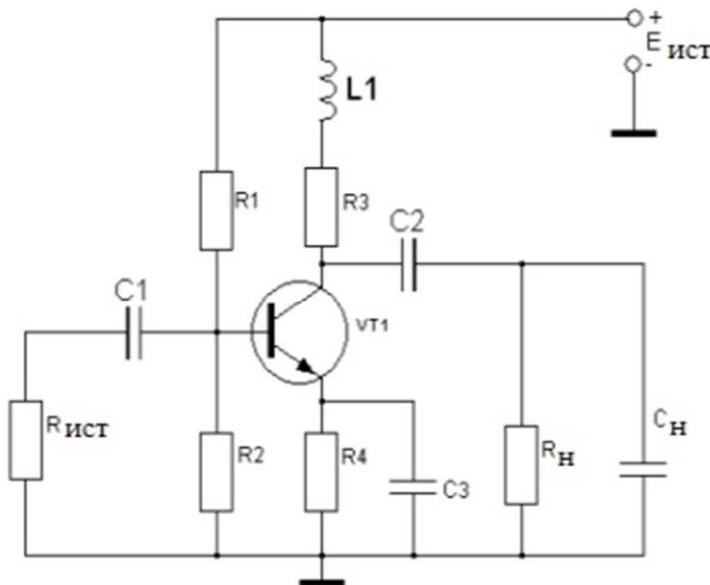


Рис.1. Схема исследуемого каскада

Исполняемый модуль разделён на три части (рис.2).

В первой части приведена схема исследуемого усилителя.

Во второй части модуля приведены значения неизменяемых параметров:

- $R_{ист}$ – сопротивление источника питания;
- R_1, R_2 – значения сопротивлений резисторов базовой цепи;

- R_4 – значение сопротивления резистора в цепи эмиттера; -
- $R_{вх.тр.}$ – входное сопротивление транзистора.

В третьей части программы приведены изменяемые параметры, которые необходимо ввести для проведения исследований:

- C_1, C_2 – разделительные конденсаторы;
- R_H – сопротивление нагрузки;
- C_H – ёмкость нагрузки;
- C_3 – ёмкость конденсатора в цепи эмиттера;
- R_3 – значение сопротивления резистора коллекторной цепи; -
- L_1 – значение корректирующей индуктивности.

Диапазон частот исследуемой АЧХ усилителя разделён на две области:

- f_{min1}, f_{max1} – область нижних частот;
- f_{min2}, f_{max2} – область верхних частот.

Значения границ частот исследования вводятся в единицах герцах.

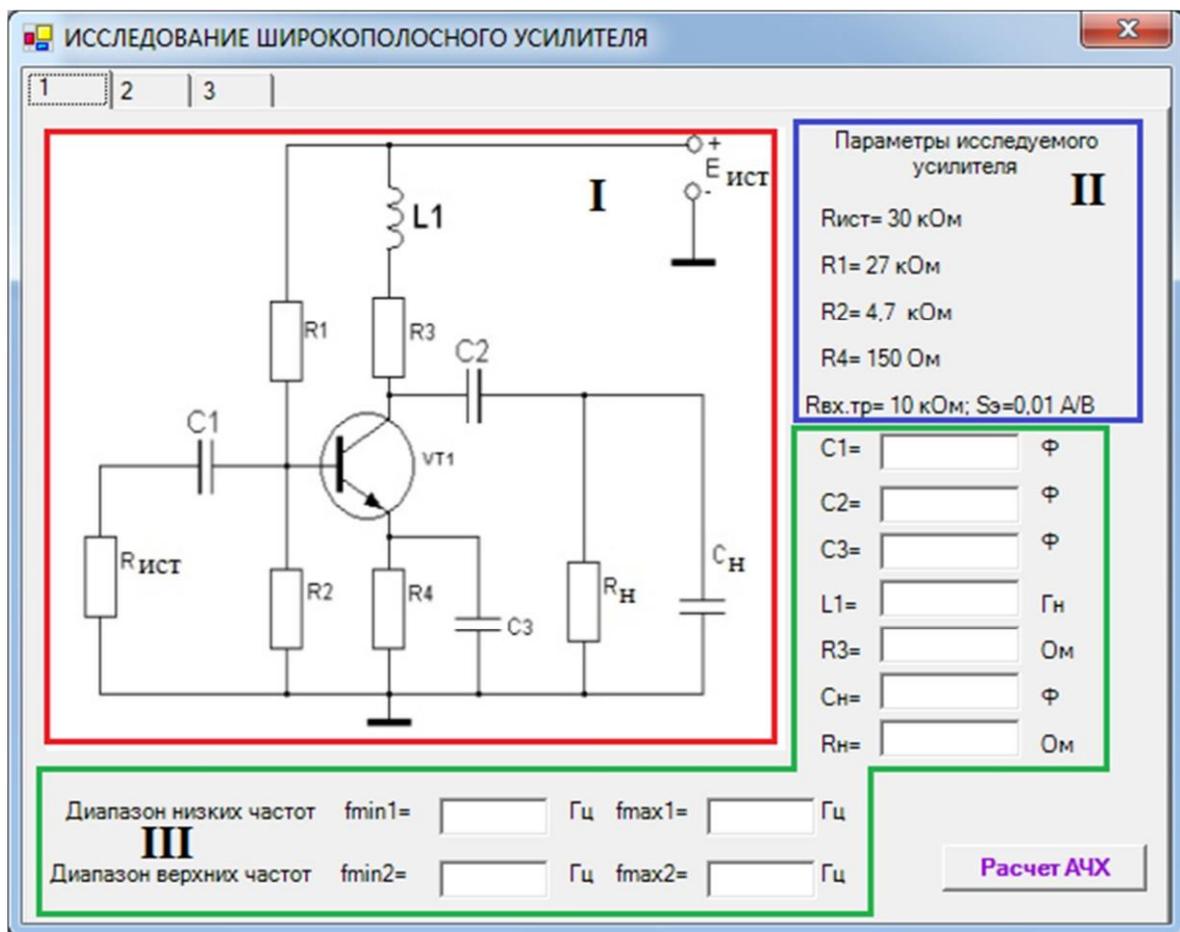


Рис.2. Вид исполняемого модуля

2. Значения изменяемых параметров вводятся в свободные «окошки» в своих единицах измерений. Значения могут вводиться в виде целых, дробных чисел и в экспоненциальном виде. В изменяемые параметрах целая и дробная часть отделяются друг от друга десятичной запятой « , ». Нельзя использовать в качестве разделителя точку « . ».

Следующие примеры вводимых значений приведены правильно: 0,05; 5e3 (или $5 \cdot 10^3=5000$); 5e-6 (или $5 \cdot 10^{-6}=0,000005$); 3,6e-12 (или $3,6 \cdot 10^{-12}$).

Элементы	Варианты заданий для исследований													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
C_1 , мкФ	100	51	68	75	150	30	62	82	56	39	27	120	36	10
C_2 , мкФ	50	100	75	47	51	33	10	11	24	36	39	82	43	4.7
C_3 , мкФ	5	10	56	11	43	51	30	33	27	47	20	160	68	82
L_1 , мкГн	26	12	16	20	18	6	3	2	1	15	30	19	20	7
R_3 , кОм	3.9	2.0	1.6	1.8	1.2	1.0	1.3	1.1	2.2	2.4	1.5	2.7	1.7	1.1
C_H , мкФ	100	8.0	9.0	7	6	5	12	4	11	16	20	15	13	14
R_H , кОм	2	120	110	130	120	140	100	150	140	110	160	120	100	120
f_{min1} , Гц	25	30	35	40	45	20	32	26	28	36	44	48	42	38
f_{min2} , Гц	1500	1600	1550	1650	1700	1750	1800	1750	1700	1900	1500	1300	1400	1450
f_{max1} , кГц	15,5	15,7	15,9	15,6	15,8	16,0	15,7	15,8	15,4	15,0	15,2	15,3	16,0	15,5
f_{max2} , кГц	20,0	20,2	20,4	20,1	20,3	20,4	20,5	21,0	20,9	20,8	20,8	20,8	20,5	20,3

Задания к исследованиям усилителя.

Вариант	Изменяемый параметр	Вариант	Изменяемый параметр
1	C_1 , мкФ ↑, ↓	8	R_3 , кОм ↑, ↓
2	C_2 , мкФ ↑, ↓	9	C_H , мкФ ↑, ↓

3	C_3 , мкФ ↑, ↓	10	R_H , кОм ↑, ↓
4	L_1 , мкГн ↑, ↓	11	C_1 , мкФ ↑, ↓
5	R_3 , кОм ↑, ↓	12	C_2 , мкФ ↑, ↓
6	C_H , мкФ ↑, ↓	13	C_3 , мкФ ↑, ↓
7	R_H , кОм ↑, ↓	14	L_1 , мкГн ↑, ↓

3. После ввода изменяемых параметров необходимо нажать на кнопку «Расчет АЧХ».

В этом случае производится расчет АЧХ широкополосного усилителя для введенных параметров.

4. Чтобы увидеть значения рассчитанной АЧХ в области нижних частот необходимо нажать кнопку «2» в верхней части программного модуля (рис.3).

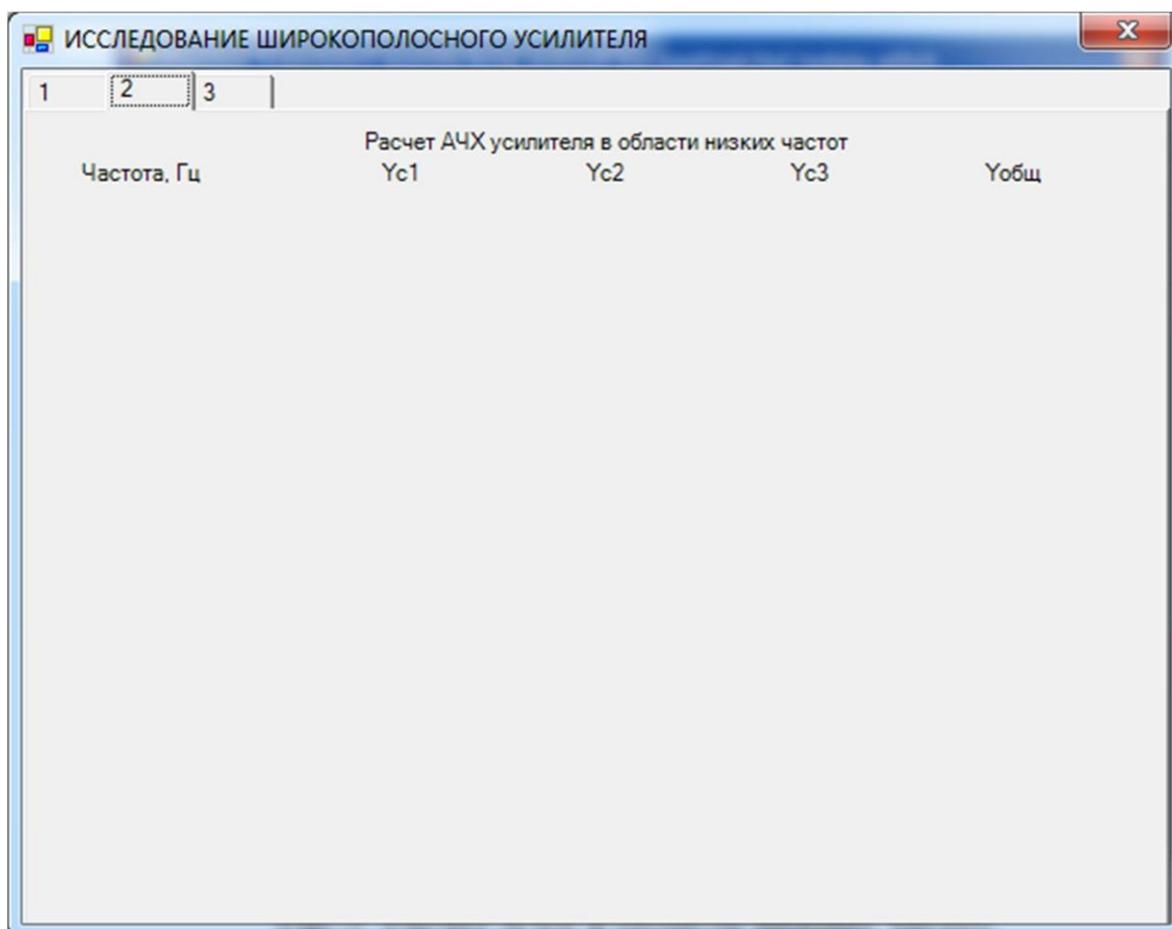


Рис.3. Расчет АЧХ в области нижних частот

Программа рассчитывает АЧХ усилителя в области нижних частот (частотные искажения в области нижних частот) в десяти точках. В первой колонке приведены значения частот, для которых производятся вычисления. В второй колонке – частотные искажения, вносимые разделительным конденсатором $C_1 - Y_{C1}$ в относительных единицах. В третьей колонке – частотные искажения, вносимые разделительным конденсатором $C_2 - Y_{C2}$ в относительных единицах. В четвертой колонке – частотные искажения, вносимые конденсатором в цепи эмиттера $C_3 - Y_{C3}$ в относительных единицах. В пятой колонке – частотные искажения, вносимые всеми конденсаторами.

5. При нажатии кнопки «3» в верхней части программного модуля выводятся значения рассчитанной АЧХ в области верхних частот (рис.4.).

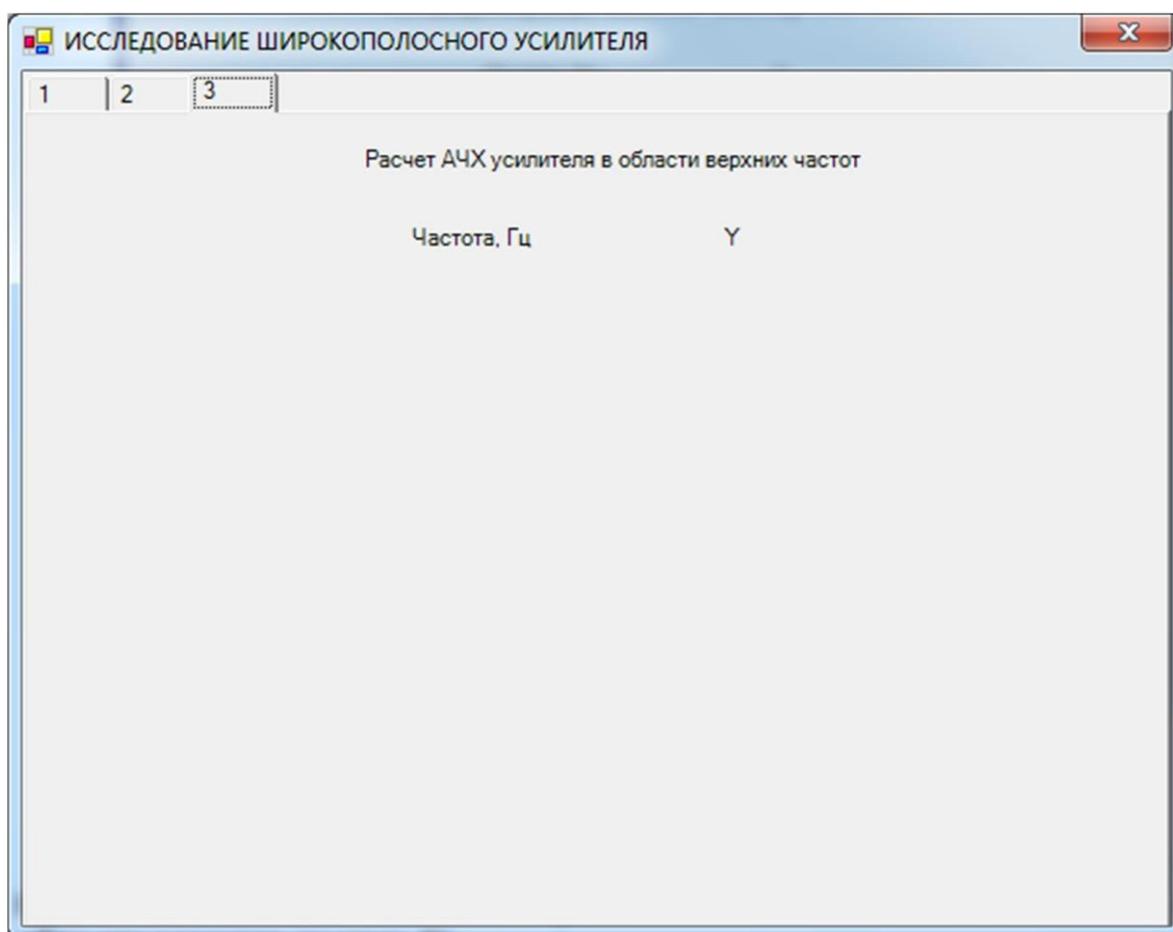


Рис.3. Расчет АЧХ в области верхних частот

В первой колонке выводятся значения частот, для которых производятся вычисления. Во второй колонке – частотные искажения в области верхних частот Y .

6. Для исследования усилителя в режиме отсутствия ВЧ индуктивной коррекции в поле ввода значений необходимо ввести $L_1=0$.

3. Алгоритм выполнения работы

На рис.5 приведён алгоритм выполнения работы.

Вначале все студенты выполняют расчет АЧХ усилителя без ВЧ индуктивной коррекции ($L_1=0$), согласно своего варианта или задания преподавателя.

Дальнейшие расчеты производятся для усилителя с ВЧ индуктивной коррекцией согласно задания.

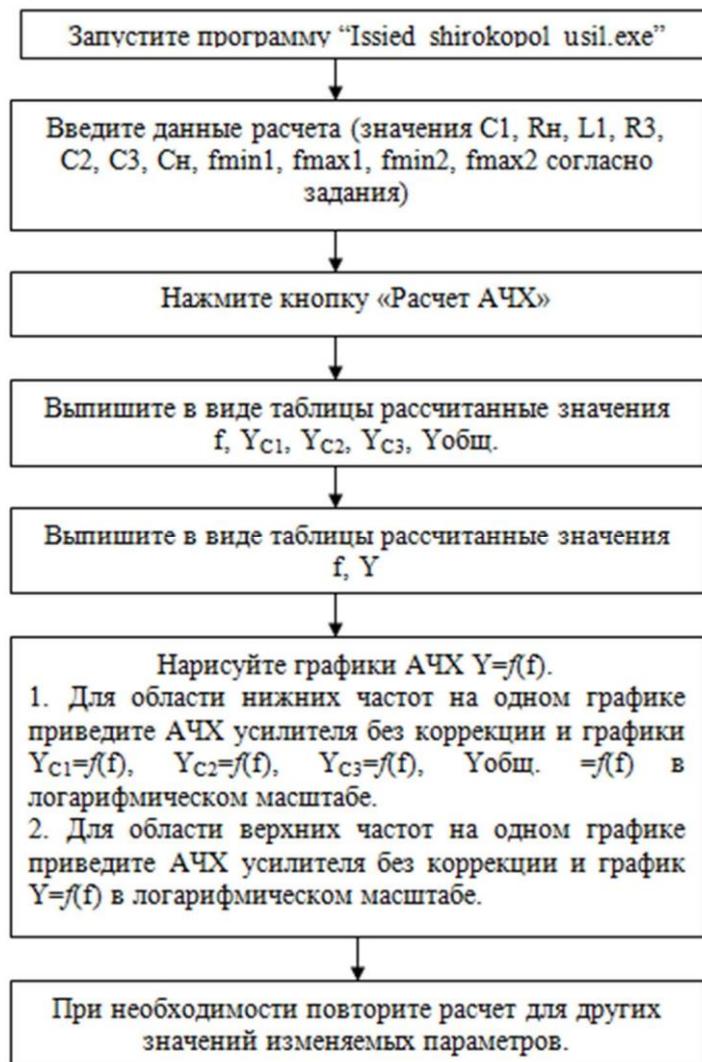


Рис.5. Алгоритм выполнения работы

Представление отчета

1. В отчете должны быть приведены
 - цель исследований;
 - схема исследуемого каскада с ВЧ индуктивной коррекцией и без; - данные к расчетам, согласно варианта.
2. Рассчитанные данные должны быть сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Расчёт АЧХ в области нижних частот

Частота, Гц	Y_{C1}	Y_{C2}	Y_{C3}	$Y_{Собщ}$

Таблица 2

Расчёт АЧХ в области верхних частот

Частота, Гц	Y_{C1}

3. Приводятся графики АЧХ, согласно алгоритма (рис.5), делаются соответствующие выводы.
4. Отчет по работе готовится каждым студентом отдельно.

Контрольные вопросы

1. Какие усилители можно отнести к широкополосным?
2. Почему анализ частотных свойств транзисторного каскада осуществляют как в области ВЧ, так и НЧ, а самого транзистора только в области ВЧ?
3. С помощью графиков ВАХ проиллюстрируйте процесс усиления сигналов в усилительном каскаде.
4. Каковы причины спада АЧХ в области высоких частот в усилителе?
5. Каковы причины спада АЧХ в области низких частот в усилителе?
6. На принципиальной схеме резисторного каскада укажите пути прохождения переменных составляющих выходного тока транзистора.

7. Объясните влияние элементов схемы каскада на искажения АЧХ.

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Цель работы

1. Изучение усилителя импульсных сигналов.
2. Исследование влияния элементов каскада на переходные характеристики усилителя.

Краткие теоретические сведения

На рис.1 приведена принципиальная схема импульсного усилителя на биполярном транзисторе.

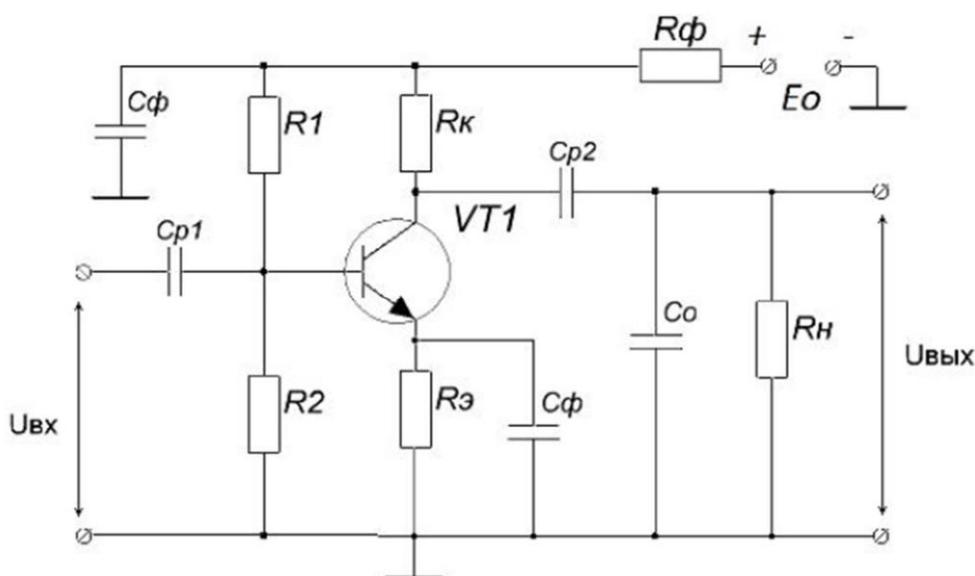


Рис. 1. Принципиальная схема каскада на биполярном транзисторе

Назначение элементов в принципиальной схеме каскада:

R_1, R_2 – делитель напряжения, осуществляет подачу напряжения смещения на базу транзистора VT1;

$R_э$ – сопротивление эмиттерной стабилизации тока покоя транзистора, создающее отрицательную обратную связь по постоянному току последовательную по току;

R_k – резистор нагрузки в цепи питания коллектора транзистора. Является элементом связи коллекторной цепи транзистора с внешней нагрузкой;

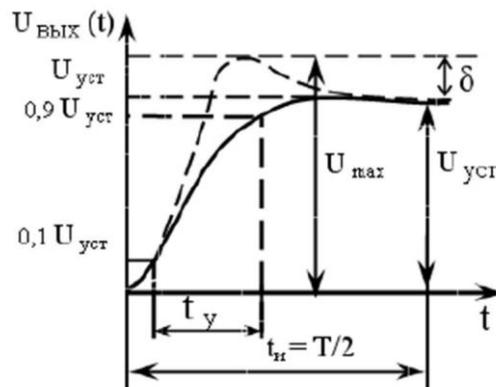
C_{p1}, C_{p2} – разделительные конденсаторы во входной и в выходной цепях каскада;

C_3 – конденсатор большой емкости, устраняет отрицательную обратную связь (ООС) по переменному току. Если в качестве C_3 используется конденсатор малой емкости, то в каскаде возникает эмиттерная высокочастотная (ВЧ) коррекция;

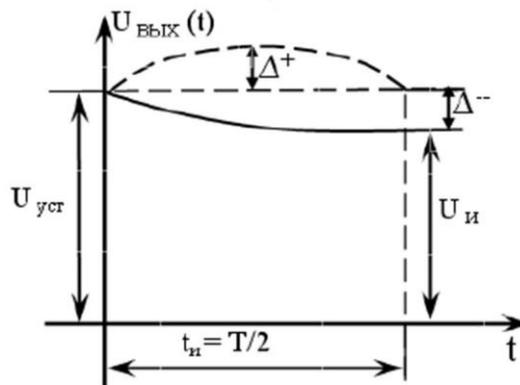
C_0 – является эквивалентом входной емкости следующего каскада, нагружающей данный каскад;

R_ϕ, C_ϕ – фильтр для сглаживания пульсации источника питания; E_0 – цепочка низкочастотной коррекции.

Для оценки линейных искажений, называемых в импульсных усилителях переходными, используется переходная характеристика, представляющая собой зависимость мгновенного значения выходного напряжения (или тока) сигнала от времени t при скачкообразном изменении входного напряжения или тока (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Переходные характеристики (ПХ): а) для области малых времен (ОМВ) (искажения фронта импульсов); б) для области больших времен (ОБВ) (искажения вершины импульса)

На рис. 2 приведены следующие обозначения:

t_u – длительность прямоугольного импульса;

T – период повторения импульсов;

t_y – время нарастания; δ - выброс

переднего фронта импульсов; Δ - - спад заднего фронта импульса;

$\Delta+$ - подъем плоской части импульса. Искажения фронта импульса характеризуются:

а) временем нарастания фронта импульса t_y - это время, в течении которого выходной сигнал изменяется от 0,1 до 0,9 своего установившегося значения $U_{уст}$, т.е.

$$t_y = t_{0,9} - t_{0,1}.$$

б) выбросом фронта импульса δ , которое характеризуется отношением напряжения (тока) выброса $\Delta U(t)$ к напряжению (току) в установившемся режиме $U_{уст}(t)$ [$\Delta U(t) = U_{max}(t) - U_{уст}(t)$]:

$$\% = \frac{U_{max}(t) - U_{уст}(t)}{U_{уст}(t)} \cdot 100.$$

Искажения вершины импульса характеризуются спадом (подъемом) Δ %, $\Delta+$ %. Спад (подъем) численно равен отношению разности между установившимся значением выходного напряжения (тока) и значением выходного напряжения (тока) в момент окончания действия импульса на входе длительностью t_u к установившейся величине выходного напряжения (тока):

$$|\Delta| \% = \frac{U_{уст}(t) - U_u(t)}{U_{уст}(t)} \cdot 100.$$

Описание программы

Программа имеет 5 окон (1, 2, 3, 4, 5). Вид исследуемого усилителя (1 окно) приведено на рис.3.

Во втором окне (рис. 4) выводится назначение элементов в принципиальной схеме исследуемого каскада.

В третьем окне (рис. 5) приведен вид переходных характеристик импульсного усилительного, определение искажения фронта и вершины импульса, времени нарастания импульса.

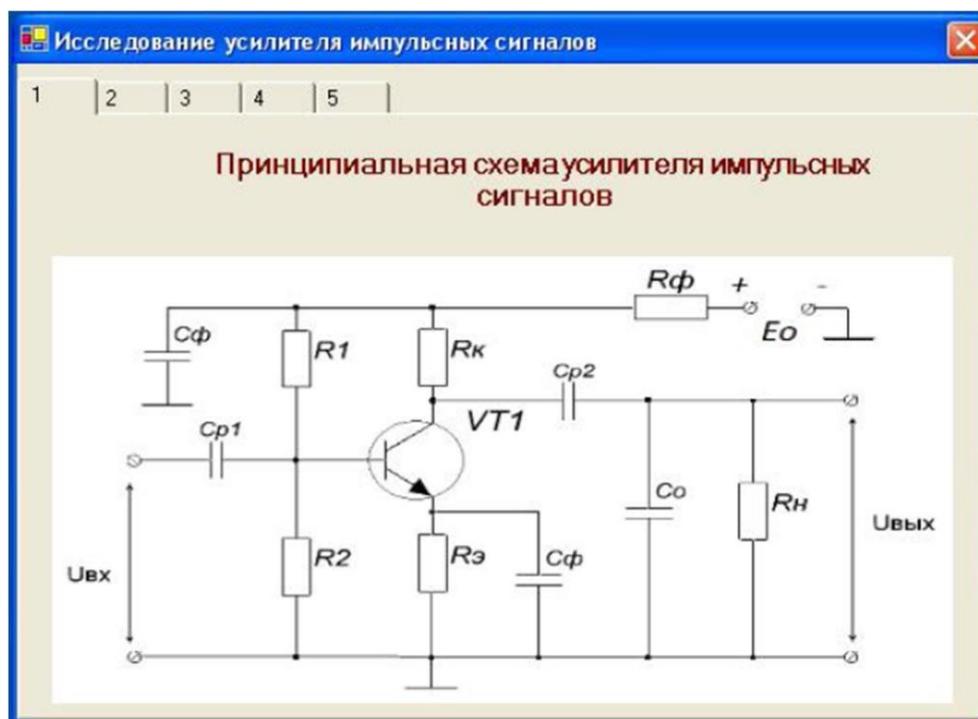


Рис.3. Схема исследуемого каскада

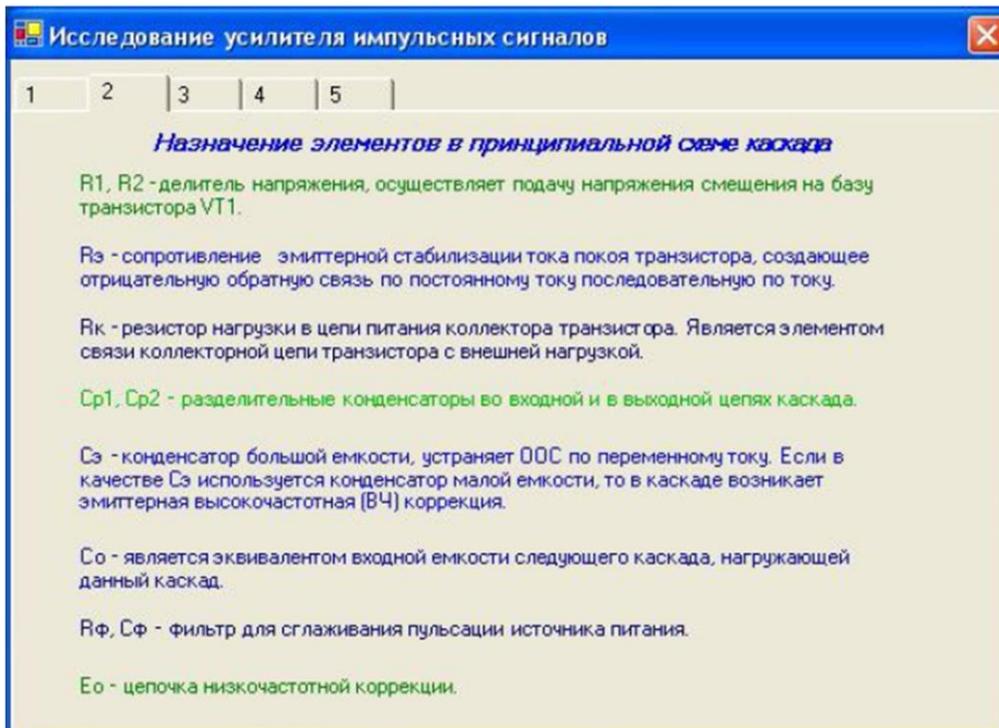


Рис.4. Назначение элементов в принципиальной схеме усилительного каскада

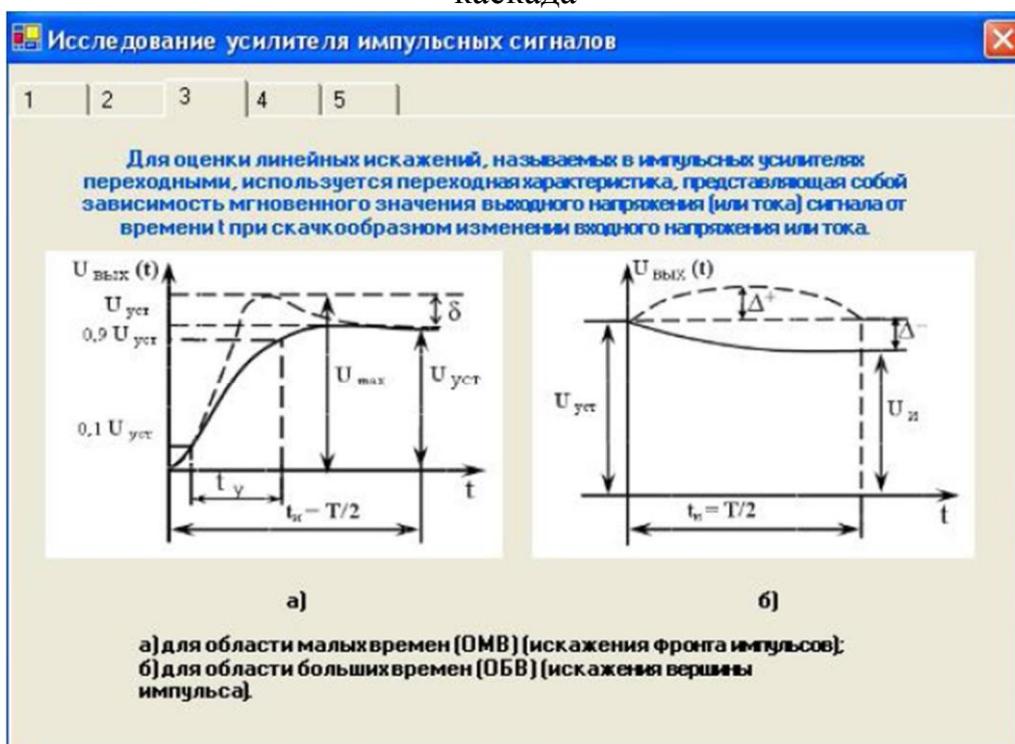


Рис.5. Вид переходных характеристик импульсного усилительного, определение искажения фронта и вершины импульса, времени нарастания импульса

В четвертом окне (рис.6) вводятся данные и производится расчет для исследования искажения вершины импульса. Исполняемый модуль состоит из двух частей. В первой части вводятся данные каскада для проведения исследований:

- сопротивление резистора в цепи коллектора R_k , Ом;
- сопротивление нагрузки R_n , Ом;
- сквозная крутизна тока в цепи эмиттера транзистора $S_э$, А/В;
- ёмкость конденсатора в цепи эмиттера $C_э$, Ф;
- ёмкость разделительного конденсатора C_{p1} , Ф;
- ёмкость разделительного конденсатора C_{p2} , Ф; - длительность импульса t_u , сек.

Во второй части модуля выводятся результаты расчетов искажения вершины импульса:

- искажения вершины импульса из-за $C_э$, %;
- искажения вершины импульса из-за C_{p1} , %;
- искажения вершины импульса из-за C_{p2} , %; - суммарные искажения вершины импульса, %.

The screenshot shows a software window titled "Исследование усилителя импульсных сигналов" (Investigation of an impulse signal amplifier). At the top, there are five tabs labeled 1 through 5. Below the tabs, the text "Введите данные для расчета искажения вершины импульса (ОБВ)" (Enter data for pulse peak distortion calculation (OBB)) is displayed. The input fields are:

- Сопротивление резистора к цепи коллектора R_k , Ом
- Сопротивление нагрузки R_n , Ом
- Сквозная крутизна тока в цепи эмиттера транзистора, $S_э$, А/В
- Ёмкость конденсатора в цепи эмиттера, $C_э$, Ф
- Ёмкость разделительного конденсатора C_{p1} , Ф
- Ёмкость разделительного конденсатора C_{p2} , Ф
- Длительность импульса, сек

Below the input fields, the text "Результаты расчетов" (Calculation results) is displayed. The output fields are:

- Искажения вершины импульса из-за конденсатора $C_э$, %
- Искажения вершины импульса из-за конденсатора C_{p1} , %
- Искажения вершины импульса из-за конденсатора C_{p2} , %
- Суммарные искажения вершины импульса, %

A "Расчет" (Calculate) button is located at the bottom right of the window.

Рис.6. Расчеты для исследования искажения вершины импульса

В пятом окне (рис.7) вводятся данные и производится расчет для исследования времени нарастания фронта импульса. Исполняемый модуль состоит из двух частей. В первой части вводятся данные каскада для проведения исследований:

- сопротивление резистора в цепи коллектора R_k , Ом; - сопротивление нагрузки R_n , Ом; - ёмкость нагрузки C_n , Ф.

Во второй части модуля выводятся результаты расчетов времени нарастания фронта импульса t_y , сек.

Исследование усилителя импульсных сигналов

1 | 2 | 3 | 4 | 5

Введите данные для расчета времени нарастания фронта импульса (ОМВ)

Сопротивление резистора в цепи коллектора R_k , Ом

Сопротивление нагрузки R_n , Ом

Емкость нагрузки, C_n , Ф

Результаты расчетов

Время нарастания t_y , сек

Расчет

Рис.7. Расчеты для исследования времени нарастания фронта импульса

Последовательность выполнения работы

1. Программа запускается двойным нажатием мышки на файл "Imp_usil.exe".
2. Значения изменяемых параметров вводятся в свободные «окошки» в своих единицах измерений. Значения могут вводиться в виде целых, дробных чисел и в экспоненциальном виде. В изменяемые параметрах целая и дробная часть отделяются друг от друга десятичной запятой « , ». Нельзя использовать в качестве разделителя точку « . ».

Следующие примеры вводимых значений приведены правильно: 0,05; 5e3 (или $5 \cdot 10^3 = 5000$); 5e-6 (или $5 \cdot 10^{-6} = 0,000005$); 3,6e-12 (или

$3,6 \cdot 10^{-12}$).

3. После ввода изменяемых параметров необходимо нажать на кнопку «Расчет».

В этом случае производится расчет соответствующих показателей усилителя импульсных сигналов для введенных параметров.

В таблице 1 приведены варианты заданий для выполнения исследования искажения вершины импульса.

Таблица 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15
$R_{в}, \text{кОм}$	7,5	6,8	7,5	8,2	9,1	10	10	11	12	13	15	10	6,2	9,1	15
	8,2						7,5						11		
	9,1						11						12		
	10						12						12		
$R_{из}, \text{кОм}$	10	8,2	8,2	9,1	11	13	14	5,6	12	14	7,5	9,1	10	6,2	11
		9,1						7,5						8,2	
		13						8,2						11	
		15						10						13	
$C_{з}, \text{мкФ}$	10	20	5	5	10	20	50	100	20	20	50	10	5	10	50
			10						50						100
			20						100						220
			50						220						500
$C_{пл1}, \text{мкФ}$	100	220	22	50	50	100	10	2,2	5	47	50	22	100	10	10
			50						10						
			100						20						
			220						50						
$C_{пл2}, \text{мкФ}$	22	10	50	5	10	10	22	50	100	20	10	50	22	100	47
				100						50					
				220						100					
				500						220					
$t_{из}, \text{мкс}$	100	120	110	105	100	110	140	145	150	200	180	125	160	170	150
						120						135			
						130						145			
						140						155			
$S_{з}, \text{А/В}$	0,005	0,01	0,007	0,008	0,008	0,01	0,006	0,007	0,009	0,011	0,012	0,004	0,005	0,008	0,007

В таблице 2 приведены варианты заданий для выполнения исследования времени нарастания фронта импульса $t_{р}$.

Таблица 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	14	15	
$R_{ис}$ КОМ	10	8,2	9,1	6,2	6,8	7,5	7,5	5,6	6,8	6,8	6,2	7,5	9,1	10	11	
	11			6,8			9,1			9,1			10			
	13			7,5			11			11			13			
	16			8,2			16			13			16			
$R_{ис}$ КОМ	9,1	6,2	11	8,2	8,2	7,5	6,8	6,2	10	5,6	11	8,2	10	7,5	10	
		6,8		11			11			10			11			
		7,5		13			15			15			13			
		10		16			18			18			16			
$C_{ис}$ пФ	100	120	80	80	75	90	100	100	150	90	110	130	50	140	150	
		90	120						150				175		75	170
		100	180						180				225		100	190
		120	200						200				275		125	210

Представление отчета

1. В отчете должны быть приведены

- цель исследований;
- схема исследуемого усилителя импульсных сигналов; - данные к расчетам, согласно варианта.

2. Рассчитанные данные по исследованию искажения вершины импульса необходимо свести в таблицу 3.

Таблица 3

Исследование искажения вершины импульса

	Значение A_1 изменяемого параметра	Значение A_2 изменяемого параметра	Значение A_3 изменяемого параметра	Значение A_4 изменяемого параметра
Искажения вершины импульса из-за $C_3, \Delta 1\%$				
Искажения вершины импульса из-за $C_{p1}, \Delta 2\%$				
Искажения вершины импульса из-за $C_{p2}, \Delta 3\%$				

Суммарные искажения вершины импульса, $\Delta\Sigma\%$				
--	--	--	--	--

Здесь $A_1 \dots A_4$ – значения параметра, который изменяется согласно варианта в таблице 1.

3. Рассчитанные данные по исследованию времени нарастания фронта импульса необходимо свести в таблицу 4.

Таблица 4

Исследование времени нарастания фронта импульса

	Значение B_1 изменяемого параметра	Значение B_2 изменяемого параметра	Значение B_3 изменяемого параметра	Значение B_4 изменяемого параметра
Время нарастания фронта импульса t_y , сек				

Здесь $B_1 \dots B_4$ – значения параметра, который изменяется согласно варианта в таблице 2.

4. Построить графики зависимостей $\Delta_1\%(A)$, $\Delta_2\%(A)$, $\Delta_3\%(A)$, $\Delta_\Sigma\%(A)$.
5. Построить график зависимости $t_y(B)$.
6. Сделать соответствующие выводы.
7. Отчет по работе готовится каждым студентом отдельно.

Контрольные вопросы

1. Что такое переходная характеристика усилителя?

2. Почему переходные искажения относятся к классу линейных?
3. Начертить вид ПХ в ОМВ.
4. Начертить вид ПХ в ОБВ.
5. Назовите искажения ПХ в ОМВ.
6. Назовите искажения ПХ в ОБВ.
7. Дайте определение искажениям ПХ в ОМВ.
8. Дайте определение искажений ПХ в ОБВ.
9. Каким образом в лабораторной работе измеряются искажения ПХ в ОМВ и ОБВ?
10. Какие элементы схемы резисторного каскада влияют на искажения ПХ в ОМВ?
11. Какие элементы схемы резисторного каскада влияют на искажения ПХ и ОБВ?
12. Как изменяются искажения ПХ в ОМВ при изменении (увеличении и уменьшении) величины элементов схемы каскада?
13. Как изменяются ПХ в ОБВ при изменении (увеличении и уменьшении) величины элементов схемы каскада?
14. Какая существует связь между АЧХ и ПХ каскада?
15. Как составляется эквивалентная схема каскада для ОБВ?
16. Как составляется эквивалентная схема каскада для ОМВ?
17. Каким образом в схеме лабораторного макета можно измерить установившуюся величину коэффициента усиления каскада?
18. Какие элементы схемы каскада определяют установившуюся величину коэффициента усиления?
19. Как изменяется установившаяся величина коэффициента усиления каскада при изменении (увеличении и уменьшении) величины параметров элементов схемы?

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Цель работы

1. Изучение усилителя мощности с обратной связью.
2. Исследование влияния глубины обратной связи на показатели усилителя.

Последовательность выполнения работы

Программа запускается двойным нажатием мышки на файл “Issled_usil_OS.exe”. Вид исследуемого усилителя приведен на рис.1.

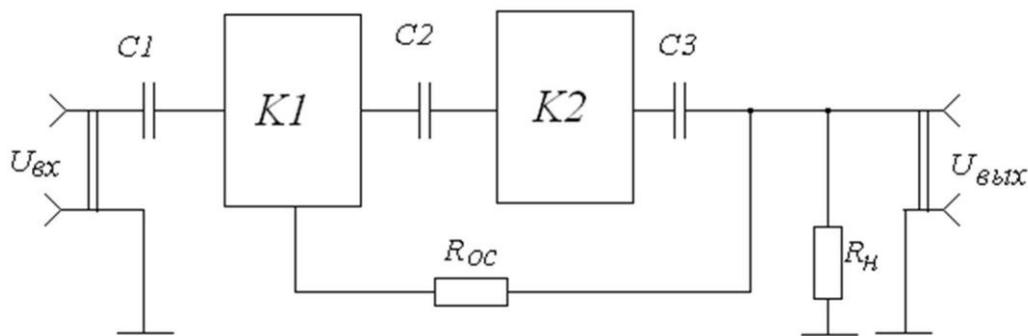


Рис.1. Схема исследуемого усилителя

Усилитель охвачен общей обратной связью, последовательной по напряжению.

Исполняемый модуль разделён на две части (рис.2).

В первой части приведена схема исследуемого усилителя.

Во второй части модуля приведены значения изменяемых параметров:

- $h_{21э}$ - параметр транзистора;
- $R_н$ - сопротивление нагрузки, Ом;
- $R_{вхОБ}$ - входное сопротивление транзистора в схеме с ОБ, Ом;
- $S_э$ - крутизна проходной характеристики, А/В;
- $U_{вх}$ - входное напряжение, В;
- $R_{обс}$ - сопротивление обратной связи, Ом.

Значения границ частот исследования вводятся в герцах.

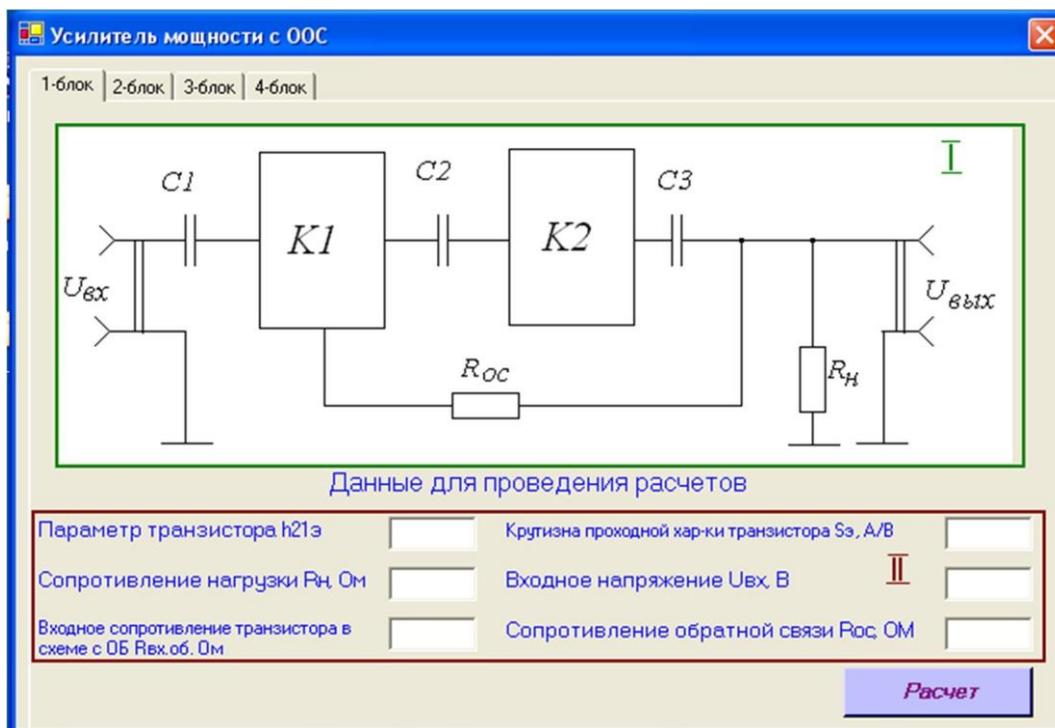


Рис.2. Вид исполняемого модуля

2. Значения изменяемых параметров вводятся в свободные «окошки» в своих единицах измерений. Значения могут вводиться в виде целых, дробных чисел и в экспоненциальном виде. В изменяемые параметрах целая и дробная часть отделяются друг от друга десятичной запятой « , ». Нельзя использовать в качестве разделителя точку « . ».

Следующие примеры вводимых значений приведены правильно: 0,05; 5e3 (или $5 \cdot 10^3 = 5000$); 5e-6 (или $5 \cdot 10^{-6} = 0,000005$); 3,6e-12 (или $3,6 \cdot 10^{-12}$).

Параметры схемы усилителя	Варианты заданий						
	1	2	3	4	5	6	7
$h_{21э}$	40	50	60	70	80	90	100
$R_{н}$, кОм	5	6	7	8	9	10	11
$R_{вхОБ}$, кОм	10	20	30	40	50	10	20
$S_{э}$, А/В	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,01	0,02
$U_{вх}$, В	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,8
R_{oc1}	0,68	0,75	0,82	0,91	1	1,2	1,5

$R_{OC},$ кОм	R_{OC2}	2,7	3,3	3,9	3	3,6	2,7	3,3
	R_{OC3}	6,8	7,5	8,2	6,8	7,5	8,2	6,8
Параметры схемы усилителя		Варианты заданий						
		8	9	10	11	12	13	14
$h_{21э}$		40	50	60	70	80	90	100
$R_H, \text{кОм}$		12	7	8	9	10	11	12
$R_{вхОБ}, \text{кОм}$		30	40	50	30	40	50	20
$S_э, \text{А/В}$		0,03	0,04	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U_{вх}, \text{В}$		0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$R_{OC},$ кОм	R_{OC1}	1,3	0,91	1	1,2	0,68	0,75	0,82
	R_{OC2}	3,9	3	3,6	2,7	3,3	3,9	3
	R_{OC3}	7,5	8,2	6,8	7,5	8,2	6,8	7,5

3. После ввода изменяемых параметров необходимо нажать на кнопку «Расчет».

В этом случае производится расчет следующих показателей усилителя мощности для введенных параметров при отсутствии обратной связи и её наличии:

- 1) Выходное напряжение $U_{вх}, \text{В}$;
- 2) Коэффициент усиления K ;
- 3) Глубина обратной связи F ;
- 5) Входное сопротивление усилителя $R_{вх}, \text{Ом}$; 6)
Выходное сопротивление усилителя $R_{вх}, \text{Ом}$.

4. Чтобы увидеть значения рассчитанных показателей необходимо нажать кнопку «2-блок» в верхней части программного модуля (рис.3).

5. При нажатии кнопки «3-блок» (рис.4) и «4-блок» (рис.5) производится расчет АЧХ усилителя соответственно в области нижних и верхних частот.

Программа рассчитывает АЧХ усилителя в области нижних и верхних частот (частотные искажения в области нижних частот) в десяти точках. В первой колонке приведены значения частот, для которых производятся вычисления. Во второй колонке – частотные искажения усилителя при отсутствии обратной связи. В третьей колонке – частотные

искажения, при наличии обратной связи. Частотные искажения даны в относительных единицах.

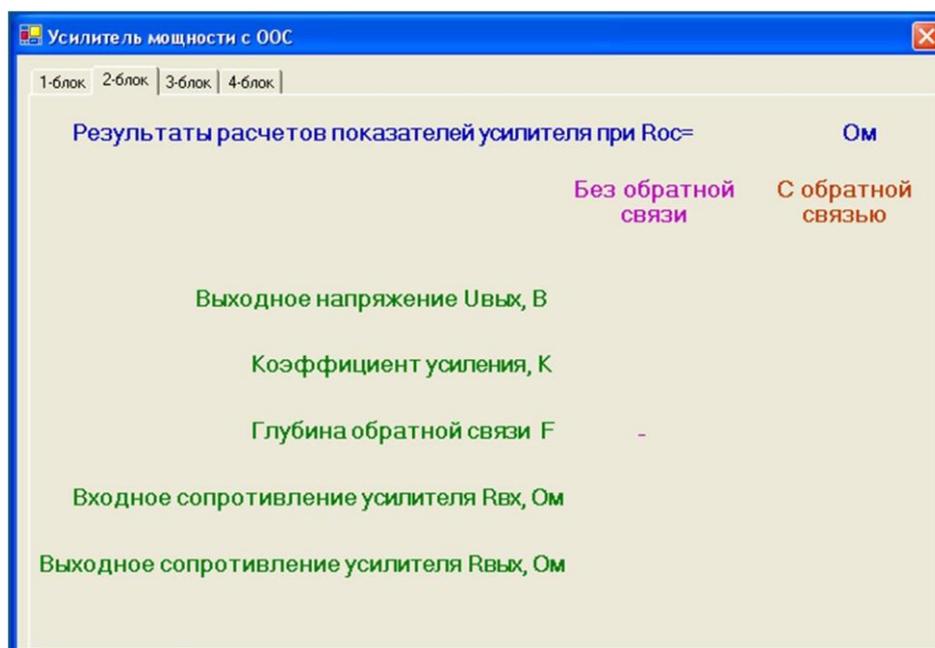


Рис.3. Расчет показателей усилителя мощности

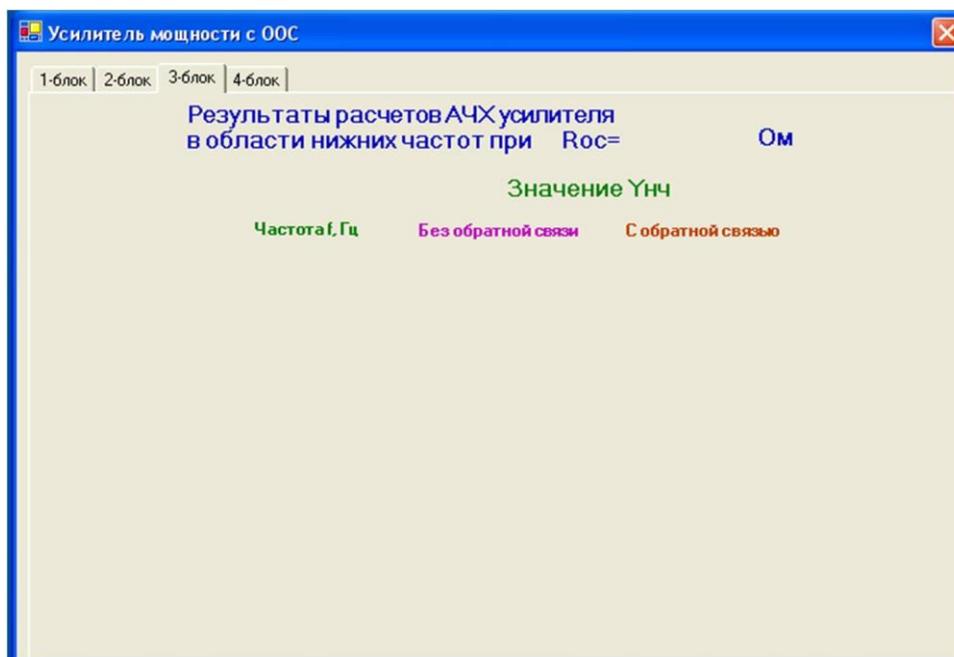


Рис.3. Расчет АЧХ в области нижних частот

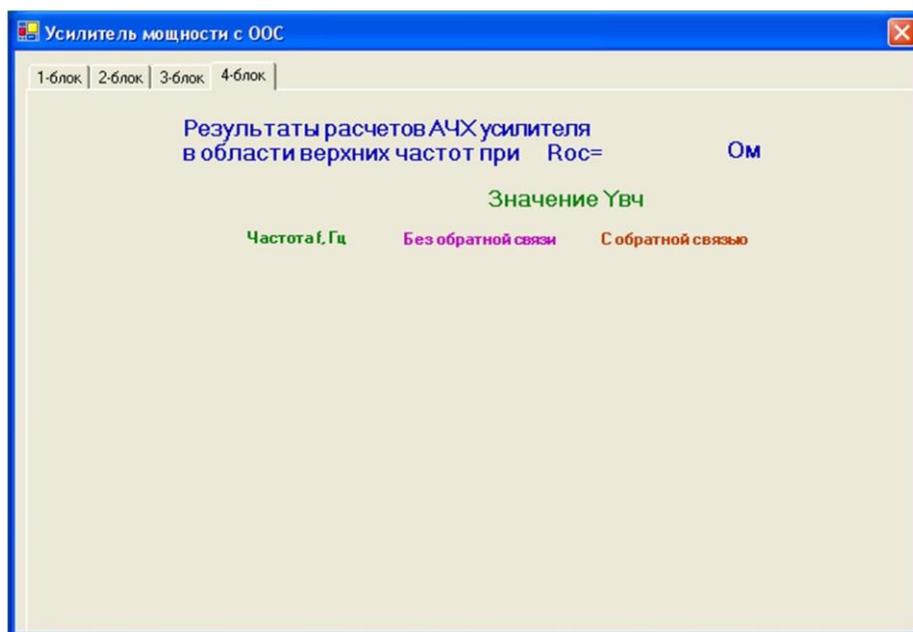


Рис.4. Расчет АЧХ в области верхних частот

Представление отчета

1. В отчете должны быть приведены
 - цель исследований;
 - схема исследуемого усилителя мощности с обратной связью;
 - данные к расчетам, согласно варианта.
2. Рассчитанные данные должны быть сведены в таблицы 1, 2, 3.

Таблица 1

Расчёт показателей усилителя

Показатель	Без обратной связи	С обратной связью		
		Roc1	Roc2	Roc3
Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, В				
Коэффициент усиления K				
Глубина обратной связи F				
Входное сопротивление усилителя $R_{\text{вх}}$, Ом				

Выходное сопротивление усилителя $R_{\text{вых}}$, Ом				
--	--	--	--	--

Таблица 2

Расчёт АЧХ в области нижних частот

Частота, Гц	$Y_{\text{нч}}$	
	с ОС	Без ОС

Таблица 3

Расчёт АЧХ в области верхних частот

Частота, Гц	$Y_{\text{вч}}$	
	с ОС	Без ОС

3. Построить графики зависимостей $U_{\text{вых}}(R_{\text{ос}})$, $K(R_{\text{ос}})$, $F(R_{\text{ос}})$, $R_{\text{вх}}(R_{\text{ос}})$, $R_{\text{вых}}(R_{\text{ос}})$.
4. Построить графики АЧХ в области нижних частот при отсутствии и при наличии ОС, сделаны соответствующие выводы.
5. Построить графики АЧХ в области верхних частот при отсутствии и при наличии ОС, сделаны соответствующие выводы.
6. Отчет по работе готовится каждым студентом отдельно.

Контрольные вопросы

1. Объяснить назначение элементов принципиальной схемы усилителя и элементов, используемых в цепи ОС.
2. Перечислить виды ООС и изобразить их структурные схемы.
3. Дать описание гальванических ООС в каскадах усилителя.

4. Перечислить достоинства и недостатки усилителя с ООС.
5. Показать цепь общей ООС и объяснить зависимость ее глубины от сопротивлений нагрузки и в цепи ОС.
6. Объяснить влияние ОС на АЧХ и АХ.
7. Объяснить, с каких точек зрения применение ОС оказывается полезным.
8. Какие трудности возникают при использовании глубокой ОС, охватывающей несколько каскадов?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы супергетеродинного приемника АМ-сигналов и его основных узлов. Приобрести практические навыки определения параметров и получения характеристик радиовещательного приемника.

Основные вопросы курса, изучаемые перед выполнением работы

1. Требования, предъявляемые к радиоприемным устройствам. Основные характеристики радиоприемника, определяющие качество приема сообщений.
2. Действие АРУ в приемнике.
3. Искажение сигналов в радиоприемнике.

Содержание работы

1. Осциллографирование напряжений в контрольных точках макета радиоприемника.
2. Снятие амплитудно-частотной характеристики входной цепи.
3. Снятие амплитудно-частотной характеристики усилителя промежуточной частоты.
4. Настройка радиоприемника на частоту сигнала.

5. Определение избирательности приемника по зеркальному сигналу.
6. Определение избирательности приемника по соседнему каналу.

Описание лабораторного макета

Лабораторный макет (рис.1) выполнен в виде сменного блока и позволяет в комплексе с контрольно-измерительной аппаратурой измерять параметры и наблюдать форму сигналов в различных точках радиоприемника. Функциональная схема макета нанесена на его верхней панели, на которой также расположены разъемы для подключения контрольно-измерительной аппаратуры, органы регулировки и коммутации:

1. Ручка регулировки частоты гетеродина «НАСТРОЙКА».
2. Выключатель гетеродина.
3. Выключатель АРУ.
4. Ручка регулировки выходного напряжения УЗЧ «ГРОМКОСТЬ».

В качестве источника АМ-радиосигнала при проведении измерений может быть использован генератор ВЧ, расположенный в блоке №2 лабораторной установки. Генератор ВЧ перестраивается по частоте в трех поддиапазонах, имеет встроенный индикатор частоты. Выходное напряжение генератора равно $1 В$ на гнезде «0 дБ» при установке стрелки индикатора уровня ВЧ на деление 0 дБ (без нагрузки). Амплитудная модуляция осуществляется напряжением НЧ, подаваемым от генератора НЧ, расположенного на этой же панели установки. Глубина модуляции определяется визуально с помощью осциллографа.

При необходимости может быть использован внешний генератор ВЧ (например, Г4-102).

В блоке №4 лабораторной установки расположен частотомер, имеющий два коммутируемых входа. Один вход предназначен для измерения частоты напряжения на выходе гетеродина. Второй вход целесообразно использовать для измерения частоты напряжения в случае использования внешнего генератора ВЧ.

Выход приемника посредством переключателя (расположен на панели №5 лабораторной установки) соединяется либо с громкоговорителем, либо с резистором R_H , являющимся эквивалентом нагрузки.

Обязательными дополнительными приборами, необходимыми для проведения работы, являются:

- двухлучевой (двухканальный) осциллограф;
- милливольтметр переменного напряжения.

В процессе проведения работы следует учесть следующее:

1. Макет не предназначен для приема радиовещательных станций, а служит для чисто учебных целей.

2. Приемник имеет узкий диапазон перестройки. Средняя частота настройки приемника составляет 800 кГц. Промежуточная частота равна 455 кГц.

3. Величины напряжений на разъемах макета могут не соответствовать реально существующим в схеме приемника, поскольку принципиальная схема макета построена таким образом, чтобы подключение контрольно-измерительной аппаратуры не вызывало заметного изменения параметров самого радиоприемника.

4. Большинство измерений следует проводить при выключенном громкоговорителе (переключатель на панели №5 – в положении $R_{ЭКВ}$). Включение громкоговорителя допускается на короткое время при настройке приемника.

Порядок выполнения работы

1. Осциллографирование напряжений в контрольных точках макета радиоприемника

1.1. Произвести соединения согласно рис.2.

Подключить вход *I* осциллографа к выходу генератора *НЧ* «0 дБ». Подключить вход *II* осциллографа к выходу генератора *ВЧ* «0 дБ». Режим синхронизации осциллографа – по входу *I*. Длительность развертки 0,2 мс/дел. Коммутатор входов осциллографа установить в положение, соответствующее визуализации напряжения, подаваемого на вход *II*.

1.2. Тумблер «АРУ» установить в положение «ВКЛ». Тумблер включения гетеродина установить в положение «ВКЛ». В качестве нагрузки радиоприемника подключить громкоговоритель. Регулятор «ГРОМКСТЬ» установить в среднее положение.

1.3. Установить требуемые параметры выходного напряжения генератора *ВЧ* в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон *II* генератора *ВЧ*);

- напряжение на выходе «-20 дБ» 10 мВ (установить с помощью внешнего вольтметра);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон *II* генератора *НЧ*);
- глубина модуляции 50 % (установить визуально с помощью осциллографа. Глубина модуляции изменяется при изменении выходного напряжения генератора *НЧ*). По показаниям вольтметра генератора *НЧ* записать величину напряжения $U_{НЧ50\%}$, соответствующую глубине модуляции 50 %.

1.4. Вход *II* осциллографа подключить к выходу гетеродина (*КТЗ*). Осциллографировать напряжение в *КТЗ*. Режим синхронизации осциллографа – по входу *II*. Длительность развертки 0,2 мкс/дел.

1.5. Вход *II* осциллографа подключить к выходу *УПЧ* (*КТ5*). Выход гетеродина соединить с входом частотомера на панели № 4. Настроить гетеродин так, чтобы в громкоговорителе прослушивался неискаженный тон частотой 1000 Гц (частота настройки гетеродина - приблизительно 1255 кГц).

Осциллографировать напряжение в *КТ5*. Режим синхронизации осциллографа – по входу *I*. Длительность развертки 0,2 мс/дел.

Убедиться в пропадании сигнала при отклонении частоты гетеродина от 1255 кГц на ± 20 кГц. Восстановить настройку гетеродина.

1.6. Вход *II* осциллографа подключить к выходу детектора (*КТ5*). Осциллографировать напряжение в *КТ5*. Режим синхронизации осциллографа – по входу *I*. Длительность развертки 0,2 мс/дел.

1.7. Вход *II* осциллографа подключить к выходу *УЗЧ* (*КТ6*). Осциллографировать напряжение в *КТ6*. Режим синхронизации осциллографа – по входу *I*. Длительность развертки 0,2 мс/дел.

2. Снятие амплитудно-частотной характеристики входной цепи

2.1. Проверить частоту настройки гетеродина - 1255 кГц. Выключить гетеродин. После этого положение ручки «НАСТРОЙКА» не изменять.

2.2. Произвести переключения согласно рис.3.

2.3. Установить параметры выходного напряжения генератора *ВЧ*:

- частота 800,0 кГц (диапазон *II* генератора *ВЧ*);

- глубина модуляции 0 % (установить визуально с помощью осциллографа. Глубина модуляции изменяется при изменении выходного напряжения генератора *НЧ*);
- выходное напряжение генератора 500 мВ (установить с помощью милливольтметра). **В дальнейшем при выполнении п.2 величину выходного напряжения генератора ВЧ не менять !**

2.4. Изменяя частоту генератора *ВЧ* в пределах поддиапазона *II*, снять зависимость напряжения на выходе входной цепи от частоты генератора (*АЧХ* входной цепи) и заполнить таблицу 1.

Таблица 1

АЧХ входной цепи

Частота генератора, кГц				
Напряжение на выходе входной цепи $U_{ВЫХ}$, мВ при $U_{ВХ} = 500$ мВ				
Нормированное напряжение на выходе входной цепи, $U_{ВЫХ} / U_{ВЫХ.МАКС.}$				

При снятии *АЧХ* необходимо провести не менее 10 измерений на различных рационально выбранных частотах в пределах указанного диапазона. В таблицу обязательно должны быть занесены результаты измерения на резонансной частоте *ВЦ*. Величина $U_{ВЫХ.МАКС.}$ соответствует максимальному значению напряжения, из занесенных во вторую строку таблицы.

По данным, занесенным в первую и третью строки таблицы, построить график *АЧХ* входной цепи. На графике показать полосу пропускания $\Delta f_{ВЦ}$ по уровню 0,707.

2.5. По вышеприведенной методике снять *АЧХ ВЦ* при положениях ручки «НАСТРОЙКА», соответствующих частотам гетеродина 1200 кГц и 1310 кГц. Графики *АЧХ ВЦ* построить в тех же координатных осях, что и предыдущий. Сравнить графики, сделать необходимые выводы.

3. Снятие амплитудно-частотной характеристики усилителя промежуточной частоты

3.1. Произвести соединения согласно рис.4. При снятии *АЧХ УПЧ* гетеродин должен быть выключен, *АРУ* должна быть выключена.

На вход УПЧ с выхода генератора ВЧ подать немодулированное напряжение 10 мВ частотой 435 кГц – 475 кГц. Величину напряжения проконтролировать с помощью милливольтметра. Во время проведения измерений выходное напряжение генератора поддерживать постоянным.

3.2. Изменяя частоту генератора в диапазоне частот от 440 кГц до 470 кГц, снять зависимость напряжения на выходе УПЧ от частоты генератора и заполнить таблицу 2.

Таблица 2

АЧХ УПЧ

Частота генератора, кГц				
Напряжение на выходе УПЧ $U_{ВЫХ}$, мВ при $U_{ВХ} = 10$ мВ				
Нормированное напряжение на выходе УПЧ, $U_{ВЫХ} / U_{ВЫХ.МАКС.}$				

3.3. По данным таблицы 2 построить график нормированной АЧХ УПЧ. На графике показать полосу пропускания $\Delta f_{УПЧ 0,707}$.

4. *Настройка радиоприемника на частоту сигнала*

4.1. Произвести соединения согласно рис.5. Гетеродин включить, АРУ включить, громкоговоритель включить, регулятор «ГРОМКОСТЬ» установить в среднее положение.

4.2. Установить требуемые параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон II генератора ВЧ);
- напряжение на выходе «-40 дБ» 1,0 мВ (установить с помощью внешнего вольтметра);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ 50\%}$).

4.3. Изменяя частоту гетеродина, настроить приемник по наличию звука в динамике и изображению сигнала звуковой частоты на экране осциллографа (синхронизация по входу I, длительность развертки 0,2 мс/дел.).

Записать частоту сигнала и гетеродина в таблицу 3.

Таблица 3

Настройка радиоприемника

Частота сигнала f_C , кГц	Частота гетеродина f_H , кГц	$f_H - f_C$, кГц
800,0		
850,0		
750,0		

4.4. Аналогично измерения для других частот сигнала, указанных в таблице 3. Занести полученные результаты в таблицу 3. Вычислить величину $f_H - f_C$ и занести в таблицу 3. Сравнить полученные результаты с результатами п. 3.3. Сделать необходимые выводы.

5. Снятие АЧХ радиоприемника вблизи частоты настройки

5.1. Произвести соединения согласно рис.6. Вольтметр перевести в режим измерения *НЧ*.

5.2. Установить параметры выходного напряжения генератора *ВЧ* как в п. 4.2.

5.3. Установить частоту гетеродина - 1255 кГц.

5.4. Изменяя частоту генератора в диапазоне частот от 780 кГц до 820 кГц, снять зависимость напряжения на выходе детектора от частоты генератора *ВЧ* и заполнить таблицу 4.

Таблица 4

АЧХ радиоприемника вблизи частоты настройки

Частота генератора <i>ВЧ</i> , кГц				
Напряжение на выходе детектора $U_{ВЫХ}$, мВ при $U_{ВХ} = 1,0$ мВ				
Нормированное напряжение на выходе детектора, $U_{ВЫХ} / U_{ВЫХ.МАКС.}$				

5.5. По данным таблицы 4 построить график нормированной АЧХ приемника. На графике показать полосу пропускания $\Delta f_{0,707}$.

6. *Определение избирательности приемника по зеркальному каналу*

6.1. Произвести соединения согласно рис.5. АРУ выключить, громкоговоритель включить, регулятор «ГРОМКОСТЬ» установить в среднее положение. Установить частоту гетеродина - 1255 кГц.

6.2. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон II генератора ВЧ);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ\ 50\%}$);
- напряжение U_C на выходе генератора ВЧ установить минимально возможным, при котором в КТ6 наблюдается неискаженное напряжение НЧ. (При необходимости переключиться на выход «-60 дБ»). Записать значение напряжения U_C .

6.3. Подстроить приемник по наличию звука в динамике и изображению сигнала звуковой частоты на экране осциллографа (синхронизация по входу I, длительность развертки 0,2 мс/дел.). Зафиксировать по экрану осциллографа наблюдаемое значение напряжения $U_{НЧ}$.

6.4. Рассчитать частоту зеркального канала приема $f_{зерк}$.

6.5. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота $f_{зерк}$ (диапазон III генератора ВЧ);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ\ 50\%}$);
- напряжение на выходе генератора ВЧ $U_{ЗЕРК}$ установить таким, при котором в КТ6 наблюдается неискаженное напряжение НЧ, равное по величине $U_{НЧ}$ (как в п.6.3.). Записать значение напряжения $U_{ЗЕРК}$. Убедиться в наличии звука в громкоговорителе.

6.6. Рассчитать значение избирательности приемника по зеркальному каналу

$$V_{ЗЕРК} \square 20lg \frac{U_{ЗЕРК}}{U_C}$$

7. Ознакомиться с работой системы АРУ

7.1. Произвести соединения согласно рис.5 АРУ выключить, громкоговоритель включить, регулятор «ГРОМКОСТЬ» установить в среднее положение. Установить частоту гетеродина - 1255 кГц.

7.2. Установить параметры выходного напряжения генератора ВЧ в следующем порядке:

- частота 800,0 кГц (диапазон II генератора ВЧ);
- частота модуляции 1000 Гц (диапазон II генератора НЧ);
- глубина модуляции 50 % (установить $U_{НЧ 50\%}$);
- напряжение U_C на выходе генератора ВЧ установить минимально возможным, при котором в КТ6 наблюдается неискаженное напряжение НЧ. (При необходимости переключиться на выход «-60 дБ»). Записать значение напряжения U_{C1} .

7.3. Плавно повышая напряжение на выходе генератора, записать такое его значение U_{C2} , при котором начинает искажаться форма синусоидального напряжения звуковой частоты на "КТ6".

7.4. Включить АРУ. Повышая напряжение на выходе генератора, записать такое его значение U_{C3} , при котором начинает искажаться форма синусоидального напряжения звуковой частоты на выходе детектора (разъем "КТ6").

7.5. Сравнить величины U_{C1} , U_{C2} , U_{C3} . Сделать необходимые выводы.

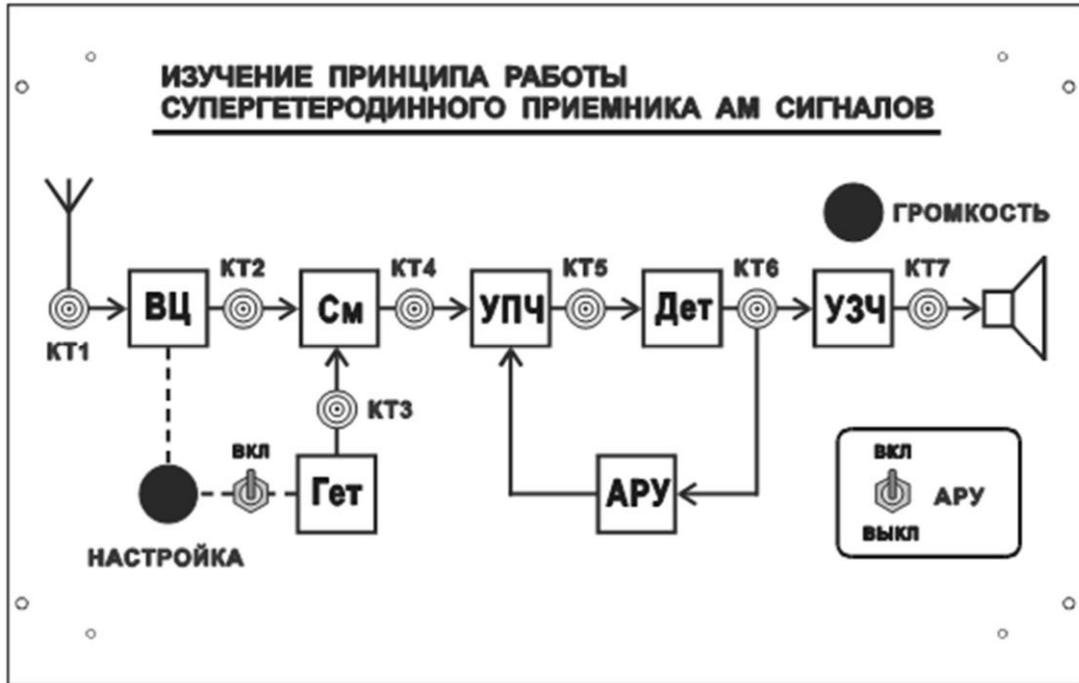


Рис.1. Лицевая панель сменного блока «Изучение принципа работы супергетеродинного приемника»

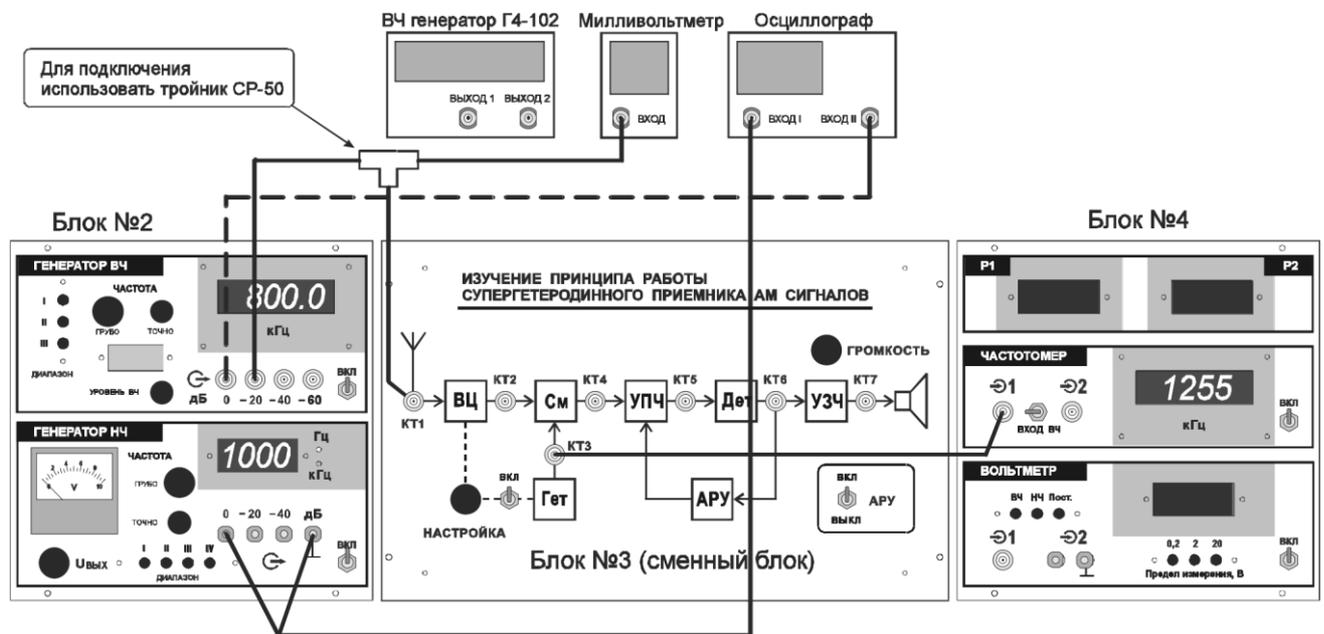


Рис.2. Схема соединений элементов лабораторной установки для проведения осциллографирования напряжений в контрольных точках лабораторного макета

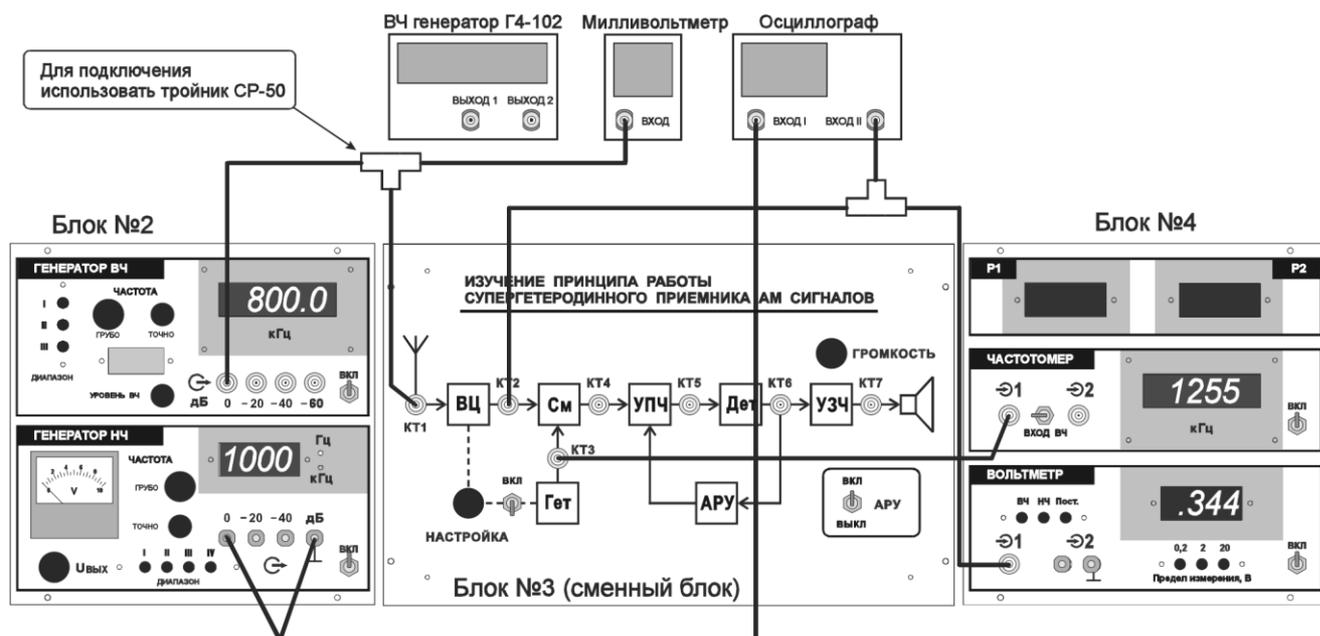


Рис.3. Схема соединения элементов лабораторной установки для снятия *АЧХ* входной цепи

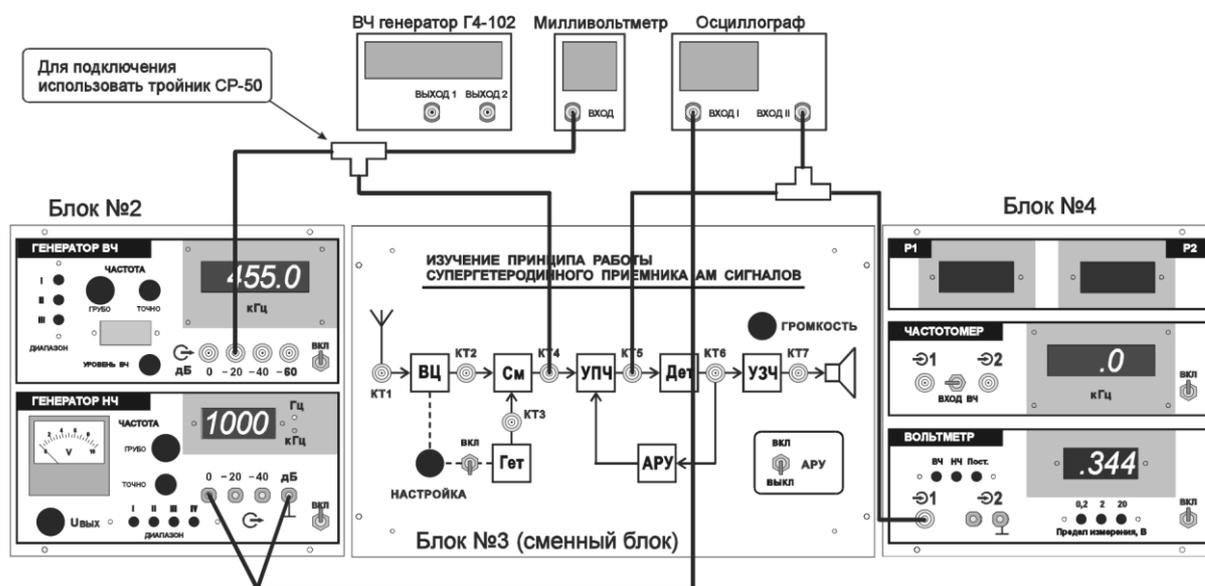


Рис.4. Схема соединения элементов лабораторной установки для снятия *АЧХ* УПЧ

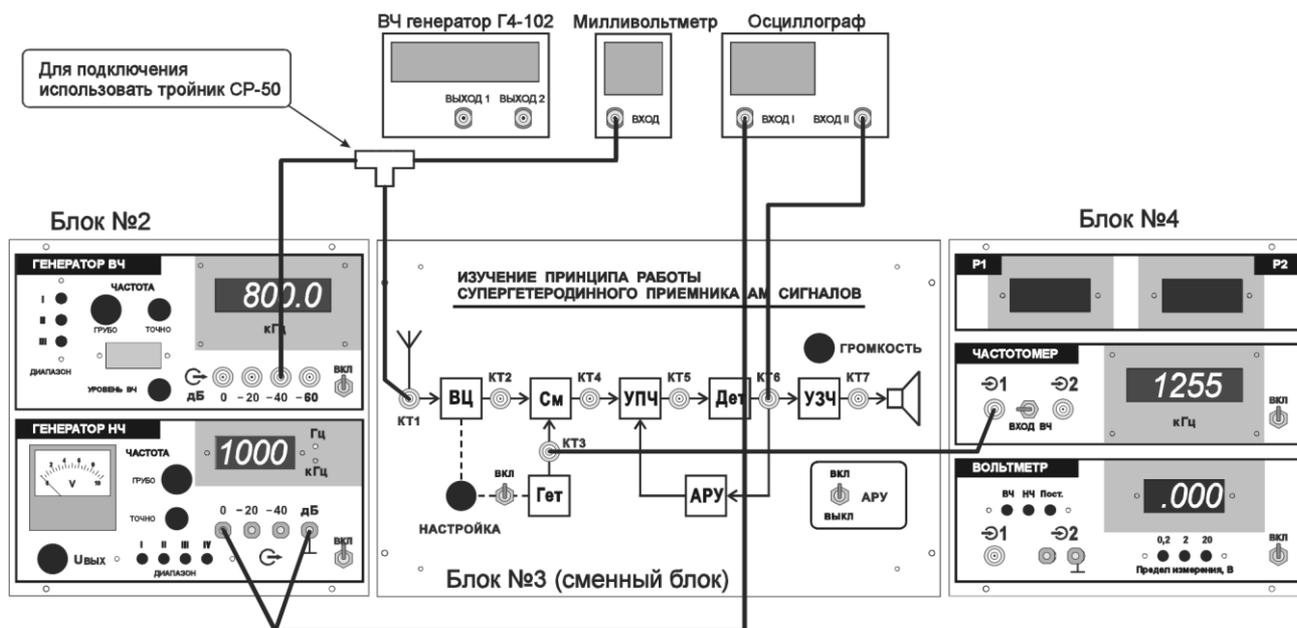


Рис.5. Схема соединения элементов лабораторной установки для проверки соотношения частот при настройке приемника на частоту радиостанции

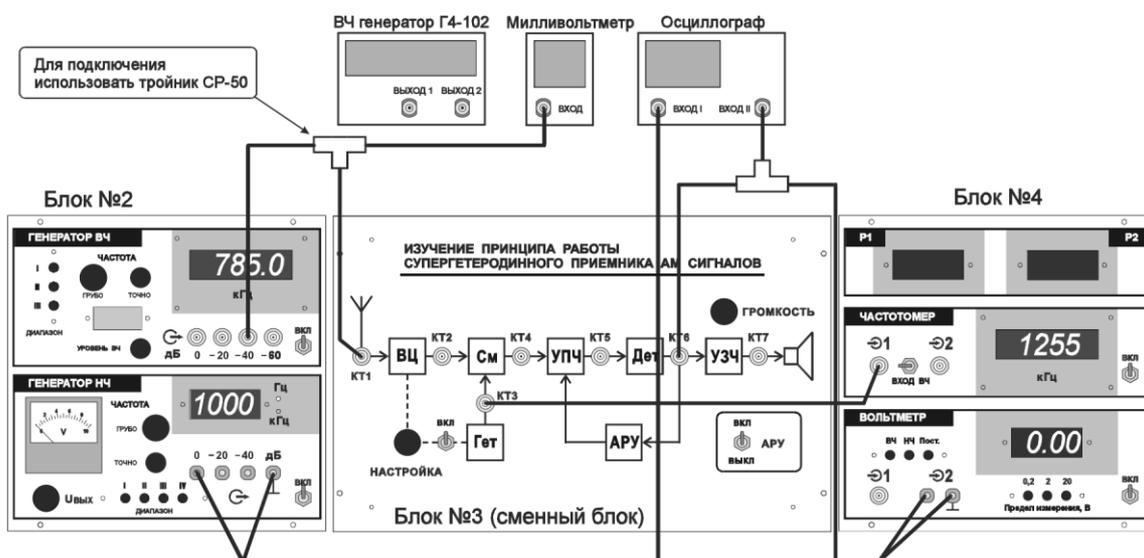


Рис.6. Схема соединения элементов лабораторной установки для снятия АЧХ радиоприемника

Контрольные вопросы

1. Дайте определение основным показателям РПРУ.

2. Изобразите структурную схему супергетеродинного приемника и опишите принцип его работы.
3. Каким соотношением определяется коэффициент шума для супергетеродинного приемника?
4. Какие меры следует принимать для повышения реальной чувствительности приемника?
5. Какие побочные каналы приема существуют у супергетеродинного приемника?
6. Каково назначение преобразователя частоты?
7. Какую функцию выполняет АРУ в приемнике?

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Цель работы

Исследовать основные свойства преобразователя частоты.

Основные вопросы курса, изучаемые перед выполнением работы

1. Принципиальные схемы преобразователей частоты.
2. Общая теория преобразования частоты. Система Y – параметров активного квазилинейного четырехполюсника.
3. Выбор режима работы преобразователя частоты.
4. Резонансная характеристика преобразователя частоты.
5. Дополнительные каналы приема.
6. Пораженные частоты настройки.
7. Нелинейные искажения сигнала в преобразователе частоты:

методы и критерии оценки, зависимость от режима работы и уровней сигнала и помех, способы уменьшения.

Содержание работы

1. Исследование зависимости крутизны преобразования от напряжения гетеродина, тока эмиттера транзистора и сопротивления резистора в эмиттерной цепи.
2. Измерение значения крутизны преобразования при использовании для преобразования полезного продукта 1-й, 2-й, 3-й гармоник гетеродина.
3. Исследование интенсивности дополнительных каналов приема.
4. Расчет и экспериментальная проверка частот свистящих точек настройки.
5. Исследование эффекта блокирования.
6. Исследование эффекта интермодуляции.

Описание лабораторного макета

Макет включает в себя транзисторный преобразователь частоты, сумматор сигналов и помех, усилитель гетеродина, измерительный тракт и цепи коммутации. Внешний вид передней панели макета приведен на рис.1.

Преобразователь частоты выполнен на транзисторе VT . Сигнал и помехи поступают на базу транзистора через сумматор (Δ). Их уровень измеряется на гнезде $KT4$.

Напряжение гетеродина подается последовательно в эмиттерную цепь транзистора от внешнего источника через усилитель гетеродина ($УГ$) и измеряется на гнезде $KT5$. Переключаемые с помощью $S2$ резисторы $R5$, $R6$, $R7$ позволяют исследовать зависимость свойств преобразователя частоты от глубины отрицательной обратной связи (таблица 1).

Таблица 1

Положение переключателя $S2$	1	2	3	4
$R_э$, Ом	51	24	12	0

Постоянная составляющая тока транзистора регулируется переменным резистором $R2$ и измеряется миллиамперметром $РА$, стоящим в коллекторной цепи (в поставляемой заказчику версии установки вместо миллиамперметра используется $АЦП$ с цифровым индикатором PI , смонтированные на панели №4. Величина тока отображается в миллиамперах). Нагрузкой транзистора VT является резистор $R4$ сопротивлением 100 Ом, что обеспечивает в выходной цепи преобразующего элемента режим, близкий к $K3$, позволяющий производить измерение крутизны преобразования.

Напряжение, снимаемое с резистора $R4$, подается на полосовой пьезокерамический фильтр ($ПФ$) и далее на двухкаскадный $УПЧ$, к выходу которого через $KT7$ подключается вольтметр переменного напряжения. Полосовой фильтр и избирательный $УПЧ$, настроенные на 465 кГц, обеспечивают достаточно высокое ослабление колебаний с частотой гетеродина, исключаяющее влияние этих колебаний на результат измерения выходного напряжения. Полосовой фильтр и двухкаскадный $УПЧ$ образуют измерительный тракт, позволяющий производить

количественную оценку уровня колебаний на выходе преобразователя частоты.

Посредством переключателя *SI* сигнал с выхода сумматора может быть подан как на вход преобразователя частоты (положение 2), так и непосредственно на вход измерительного тракта при исследовании его характеристик (положение 1).

За *УПЧ* следуют амплитудный детектор (*АД*) и усилитель звуковой частоты (*УЗЧ*), сигнал с которого можно подать на динамик и осциллограф. Эти узлы используются при исследовании интерференционных свистов, возникающих в преобразователе частоты

Для выполнения лабораторной работы используются генератор *ВЧ*, расположенный на панели №2 лабораторной установки, частотомер и вольтметр, расположенные на панели №4, а также динамик, расположенный на панели №5.

Для выполнения лабораторной работы помимо лабораторной установки требуется дополнительное оборудование:

- двухлучевой (двухканальный) осциллограф;
- *ВЧ* генератор – 2 шт.;
- милливольтметр переменного напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Исследование параметров измерительного тракта

1.1. Измерить резонансный коэффициент передачи измерительного тракта *ПЧ* (рис.2).

Переключатель *SI* установить в положение 1, от генератора *Г1* подать немодулированное напряжение частотой 465 кГц. Уровень выходного напряжения генератора *Г1* подобрать таким образом, чтобы напряжение U_1 на гнезде *КТ4* было порядка 2 мВ.

Вольтметр блока №4 перевести в режим «*ВЧ*».

Подстроить частоту генератора по максимуму выходного напряжения U_3 , измеряемого на *КТ7*. Рассчитать коэффициент передачи измерительного тракта:

$$K_{0 \text{ ИЗМ.ТР.}} = U_3 / U_1 \text{ .}$$

1.2. Снять резонансную характеристику измерительного тракта при напряжении на входе тракта, равном $U_{ВХ} = 2$ мВ. Построить резонансную характеристику и по графику определить отстройку от резонансной частоты (Δf), соответствующую ослаблению сигнала на 10, 20, 30 дБ.

2. Исследование зависимости малосигнальных параметров преобразователя частоты от режима работы преобразующего элемента

Методика определения крутизны преобразования ($Y_{21 ПР}$) при различных режимах работы преобразующего элемента VT (рис.3).

Переключатель S1 установить в положение 2.

Выбрать значение частоты гетеродина f_H (в качестве гетеродина используется ВЧ генератор блока №2) таким, чтобы ослабление колебаний этой частоты было существенно больше 30 дБ (выбор произвести по резонансной характеристике измерительного тракта ПЧ).

Выбрать значение частоты сигнала f_C (генератора Г1) таким образом, чтобы частота полезного преобразованного продукта ($f_{ПР}$) была равна частоте настройки тракта ПЧ:

$$f_{ПР} = |f_H - f_C| = 465 \text{ кГц} .$$

Установить требуемые значения напряжений сигнала U_C и гетеродина U_H , поочередно фиксируя их милливольтметром на КТ4 и В2 на КТ5 (при измерении U_C обязательным является выключение гетеродина, при измерении U_H обязательным является выключение генератора Г1).

С помощью переменного резистора R2 установить требуемое значение эмиттерного тока транзистора VT.

С помощью переключателя S2 установить желаемое значение сопротивления в эмиттерной цепи транзистора.

Значение напряжения сигнала U_C в КТ4 установить не более 2 мВ. Генератор Г1 подстроить по максимуму напряжения на выходе измерительного тракта ПЧ и записать величину $U_{ВЫХ}$ в КТ7.

Рассчитать значения тока преобразованной частоты в коллекторной цепи транзистора и крутизны преобразования:

$$I_{ПР} = U_{ВЫХ} / (R_H \cdot K_0 \text{ ИЗМ.ТР.}),$$
$$Y_{21 ПР} = I_{ПР} / U_C ,$$

где R_H - значение сопротивления резистора $R4$ (100 Ом).

2.1. Снять зависимость $Y_{21\text{ ПП}}$ от уровня напряжения гетеродина U_G .

Установить напряжение сигнала в $KT4$ $U_C=2$ мВ.

Переключатель $S2$ установить в положение 4 ($R_{Э} = 0$ Ом).

Переменным резистором установить ток эмиттера $I_{Э} = 1$ мА.

Напряжение гетеродина в $KT5$ изменять в пределах от 10 до 100 мВ.

Построить график зависимости $Y_{21\text{ ПП}}$ от U_G и определить оптимальное напряжение $U_{G\text{ ОПТ}}$, при котором $Y_{21\text{ ПП}}$ принимает максимальное значение

2.2. Снять зависимость $Y_{21\text{ ПП}}$ от величины постоянной составляющей тока эмиттера $I_{Э}$. Исследование проводится при $R_{Э} = 0$ Ом (переключатель $S2$ в положении 4) $U_G = U_{G\text{ ОПТ}}$. Значение тока $I_{Э}$ следует изменять от минимального до максимального, допускаемого потенциометром $R2$. Построить график зависимости $Y_{21\text{ ПП}}$ от $I_{Э}$.

2.3. Исследовать влияние сопротивления в цепи эмиттера на крутизну преобразования. Для этого снять зависимости $Y_{21\text{ ПП}}$ от U_G при значениях $R_{Э}$, равных 12 Ом, 24 Ом и 51 Ом (переключатель $S2$ в положениях 3, 2 и 1 соответственно). Исследование провести при значении постоянной составляющей эмиттерного тока $I_{Э}=1$ мА. Построить на одном чертеже графики зависимостей $Y_{21\text{ ПП}}$ от U_G для значений $R_{Э}$, равных 0 Ом, 12 Ом, 24 Ом и 51 Ом. Определить значения $U_{G\text{ ОПТ}}$.

2.4. Исследовать эффективность преобразования по высшим гармоникам напряжения гетеродина.

Для этого рассчитать значения частот сигнала f_C , колебания которых совместно с гармониками ($q=1, 2, 3$) выбранной частоты гетеродина f_G образуют продукты преобразования с частотой $f_{\text{ПП}}$, равной значению $f_{\text{ПЧ}}$, т. е.

$$f_{\text{ПП}} = |qf_G - f_C| = 465 \text{ кГц.}$$

Устанавливая на генераторе колебания частот f_C , соответствующих преобразованию по 2-й и 3-й гармоникам гетеродина, снять зависимости $Y_{21\text{ ПП}}$ от U_G . Условия измерения те же, что и в п. 2.1. Построить графики

зависимостей Y_{21PP} от U_{Γ} при $q=2, 3$ на том же чертеже, что и при $q=1$ (п. 2.1).

3. Исследование дополнительных каналов приема и интерференционных свистов в преобразователе частоты

3.1. Исследовать интенсивность дополнительных каналов приема.

Установить f_{Γ} как в п.2.1, а $U_{\Gamma}=U_{\Gamma.опт}$, $R_{\Sigma}=0$ Ом. Для установленной частоты гетеродина рассчитать частоты экстремумов резонансной характеристики преобразователя:

$$f_k = |(q \cdot f_{\Gamma} / s) \square (f_{ПЧ} / s)|,$$

соответствующих $s = 1, 2$ и $q = 0, 1, 2, 3$.

Не изменяя частоты гетеродина, поочередно подавать на сигнальный вход преобразователя колебания с частотами f_k . При каждой настройке небольшим изменением частоты генератора $\Gamma 1$ добиваться максимального значения выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ в $KT7$ и записывать это значение.

Провести исследование для всех рассчитанных частот f_k . Результаты исследования оформить в виде таблицы.

3.2. По результатам проведенных исследований построить резонансные характеристики преобразователя частоты совместно с измерительным трактом $ПЧ$. Резонансная характеристика представляет частотную зависимость нормированных значений $U_{ВЫХ}$. Нормирование проводится к значению выходного напряжения при основной настройке ($s=1, q=1$). На характеристиках следует указать значения s и q , соответствующие каждой настройке, на оси частот отметить положение частоты гетеродина и ее гармоник.

3.3. Проверить свистящие точки настройки (рис.4).

На панели громкоговорителя (правая панель лабораторной установки) тумблер «Радиоприемник – УЗЧ» установить в нижнее положение, тумблер «Динамик – $R_{ЭКВ}$ » установить в верхнее положение. Регулятор усиления УЗЧ на панели «Исследование преобразователя частоты» установить в крайнее правое положение.

Рассчитать при $s = 2, 3, 4$ и $q = 1, 2$ частоты свистящих точек настройки и соответствующие им значения частоты гетеродина

$$f_{CB} = f_{ПЧ} \cdot (q \square 1) / (s - q), \quad f_{Г} = f_{CB} + f_{ПЧ}.$$

Установить режим преобразователя частоты: $U_C=30$ мВ, $U_{Г}=U_{ГОПТ}$. Последовательно устанавливая частоты генераторов $Г1$ и $Г2$ равными рассчитанным значениям f_{CB} и $f_{Г}$ и изменяя в небольших пределах одну из этих частот, прослушать в громкоговорителе свисты. (Контроль частоты генераторов $Г1$ и $Г2$ осуществлять поочередно переключая тумблер «ВХОД1 – ВХОД2» частотомера).

3.4. Выбрать одно из рассчитанных значений f_{CB} . Настроить генераторы $Г1$ и $Г2$ на f_{CB} и $f_{Г}$ соответственно.

Изменить частоту одного из генераторов на $\square F = 3$ кГц .

Установить на слух, соответствует ли частота слышимого звука значению $\square F = 3$ кГц.

Определить с помощью осциллографа частоту переменного напряжения в $КТ8$.

3.5. При настройке на частоту $f_{CB} \square \square F$ уменьшать уровень сигнала до тех пор, пока слышимость свиста станет пренебрежимо малой. Зафиксировать это значение входного напряжения. Повторить эту операцию для f_{CB} с другими значениями s и q . Сделать выводы о влиянии уровня сигнала на интенсивность свистов при различных значениях s .

4. Исследование эффекта блокирования

Схема проведения исследования приведена на рис.5.

Установить f_C и $f_{Г}$ как в пп. 2.1 – 2.3 , $U_{Г} = U_{Г ОПТ}$, $R_{Э} = 0$ Ом. Уровень сигнала в $КТ4$ $U_C = 2$ мВ .

Включить режим внутренней модуляции генератора $Г1$, $m=30\%$. Наблюдать на экране осциллографа напряжение тональной частоты, прослушать в динамике панели №5 тональный звук.

Включить генератор $Г2$ и подать от него немодулированную помеху. Значение частоты помехи $f_{П}$ выбрать таким, чтобы тракт $ПЧ$ обеспечивал ослабление существенно больше 30 дБ колебаний с частотами:

$$f_{П},$$

$$f_{ПР П*} = |q \cdot f_{Г} \square f_{П}|, \quad f_{ПР П**} = |p \cdot f_{П} \square f_{Г}|,$$

$$f_{ПР П***} = |p \cdot f_{П} \square f_{C}|, \quad \text{при } p, q = 1, 2, 3.$$

Установить напряжение помехи $U_{П}$ в *КТ4* (при выключенном генераторе $\Gamma 1$ и гетеродине) приблизительно равным $U_{С}$. Поочередно выключая генераторы убедиться в том, что вольтметр фиксирует именно напряжение преобразованной частоты.

Включить генераторы $\Gamma 1$, $\Gamma 2$ и гетеродин. Увеличивая напряжение помехи от 0 до 200 мВ, снять зависимость напряжения на выходе измерительного тракта *ПЧ* $U_{ВЫХ}$ от $U_{П}$. Для каждого значения $U_{П}$ рассчитать значения коэффициента блокирования:

$$K_{БЛ} = |U_{ВЫХО} - U_{ВЫХОМ}| / U_{ВЫХО},$$

где $U_{ВЫХОМ}$ - напряжение на выходе измерительного тракта *ПЧ* при наличии помехи;

$U_{ВЫХО}$ - напряжение на выходе измерительного тракта *ПЧ* в отсутствие помехи.

Построить графики зависимости $U_{ВЫХ}$ и коэффициента блокирования от уровня помехи. Повторить измерения при другом значении частоты помехи.

5. Исследование эффекта интермодуляции

Установить $f_{Г}$ как в п. 2.1, $U_{Г} = U_{Г ОПТ}$, $R_{Э} = 0$ Ом.

От генераторов $\Gamma 1$ и $\Gamma 2$ подать колебания немодулированных помех с уровнями $U_{П1} = U_{П2} = U_{П} = 20$ мВ. Значения этих напряжений устанавливаются поочередно и измеряются в *КТ4* вольтметром *В1*. Значения частот помех $f_{П1}$ и $f_{П2}$ выбрать так, чтобы

$$f_{ИМ} = f_{Г} - (f_{П1} \square f_{П2}) = 465 \text{ кГц},$$

а тракт *ПЧ* обеспечивал ослабление существенно больше 30 дБ колебаний с частотами:

$$f_{П1}, f_{ПР П1} = |q \cdot f_{Г} \square f_{П1}|, f_{ПР П1*} = |p \cdot f_{П1} \square f_{Г}|, f_{П2}, f_{ПР П2} = |q \cdot f_{Г} \square f_{П2}|, f_{ПР П2*} = |p \cdot f_{П2} \square f_{Г}|,$$

при $p, q = 1, 2, 3$.

Рассчитанные значения частот целесообразно нанести на ось абсцисс графика резонансной характеристики измерительного тракта ПЧ.

Установить на генераторах Г1 и Г2 значения выбранных частот $f_{П1}$ и $f_{П2}$, подстроить в небольших пределах частоту одного из генераторов по максимуму показаний вольтметра ВЗ. Поочередно выключая генераторы Г1, Г2 и гетеродин, убедиться каждый раз в пропадании преобразованного интермодуляционного продукта на выходе тракта ПЧ.

Измерить уровень продукта интермодуляции $U_{ВЫХ}$ на выходе измерительного тракта ПЧ и вычислить значение коэффициента интермодуляции 2-го порядка:

$$K_{ИМ} = U_{ВЫХ} / (U_{П} \cdot K_{О\text{ ИЗМ ТР}}).$$

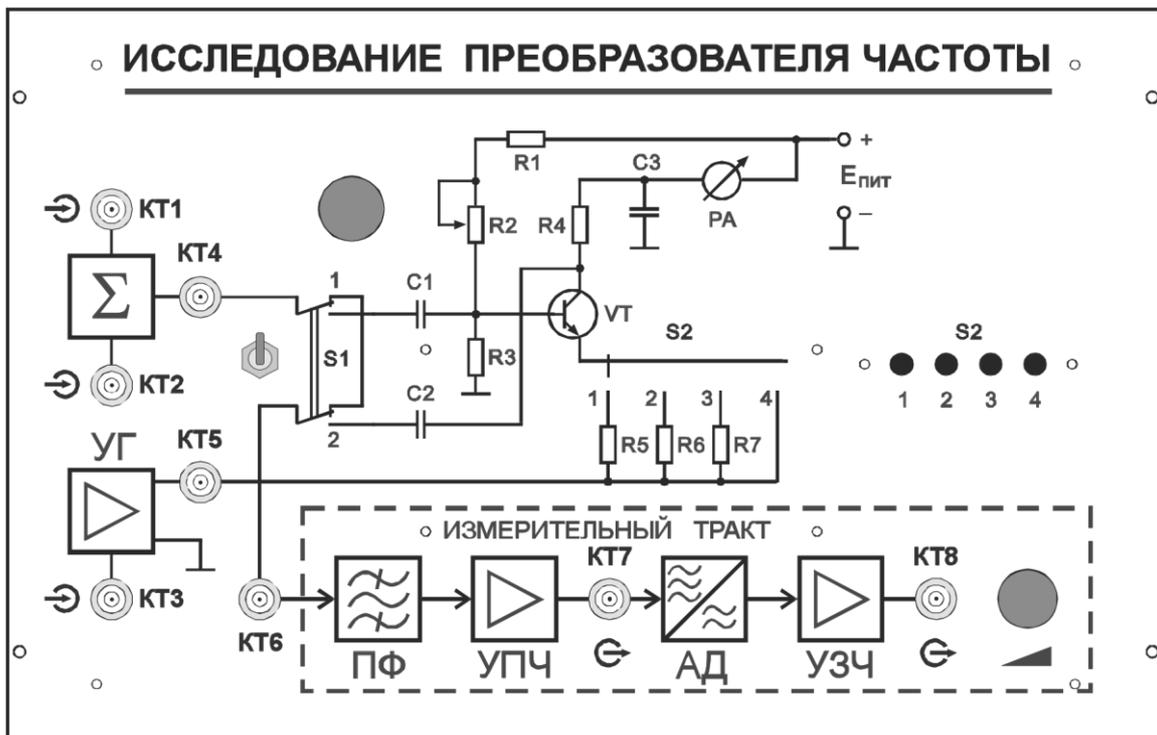


Рис.1. Лицевая панель сменного блока «Исследование преобразователя частоты»

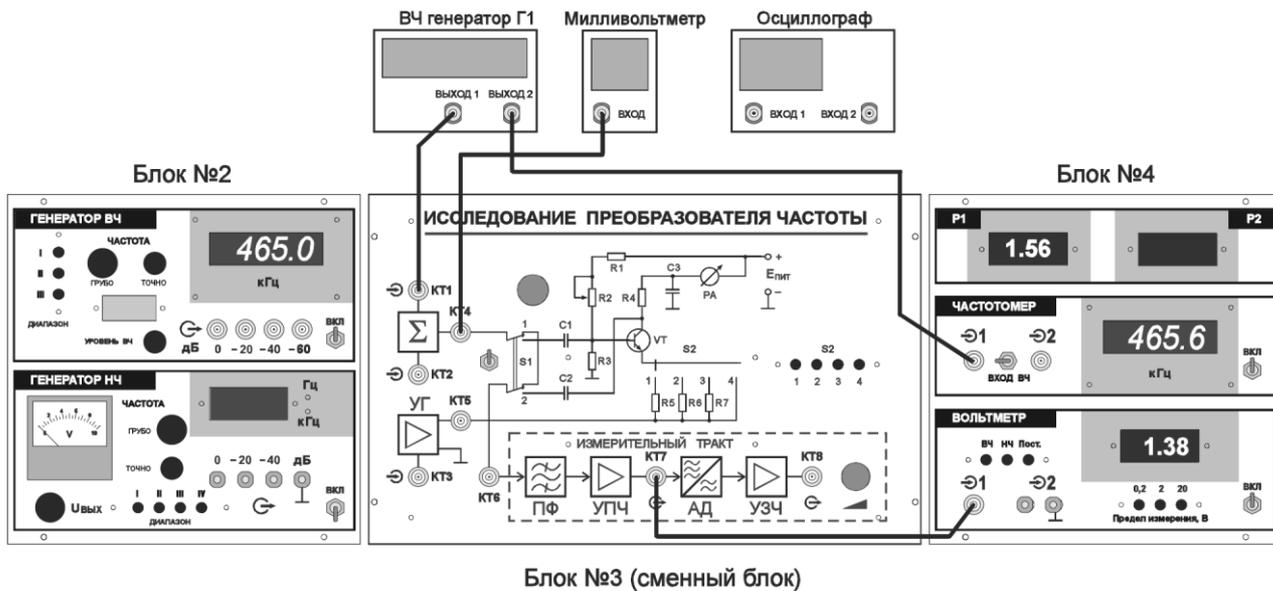


Рис.2. Исследование параметров измерительного тракта

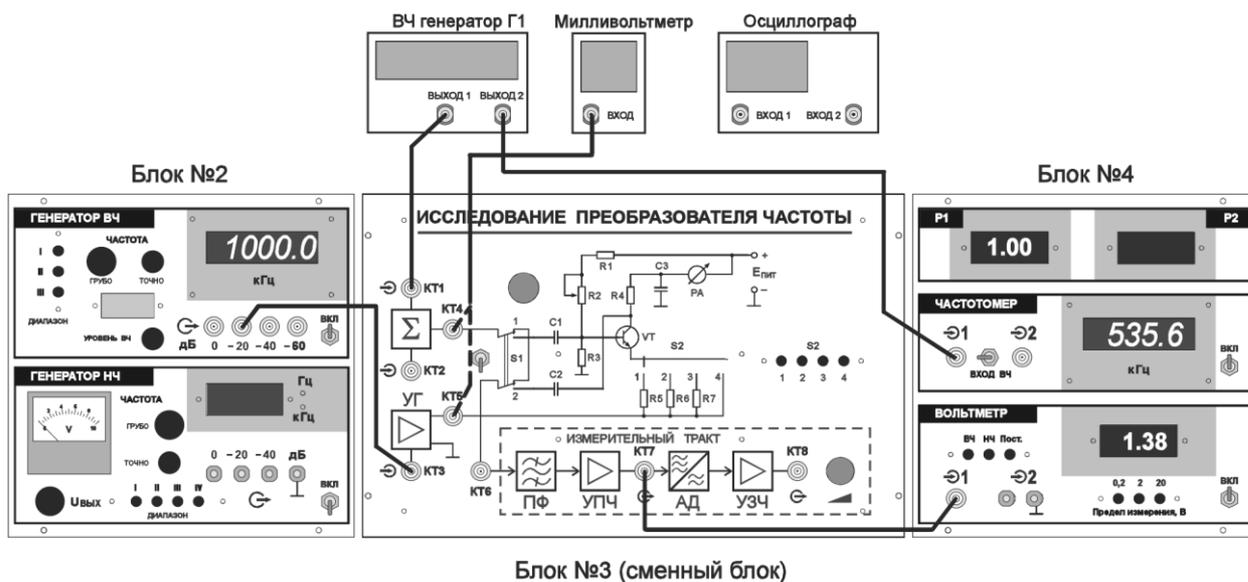


Рис.3. Исследование зависимости малосигнальных параметров преобразователя частоты от режима работы преобразующего элемента

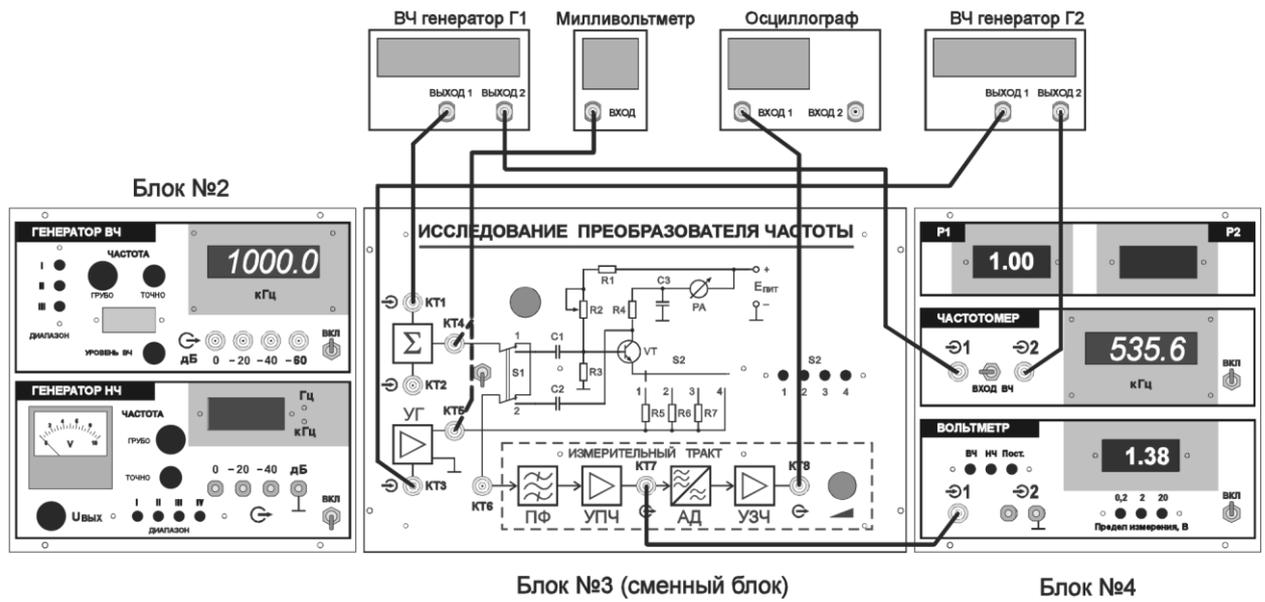


Рис.4. Проверка свистящих точек настройки

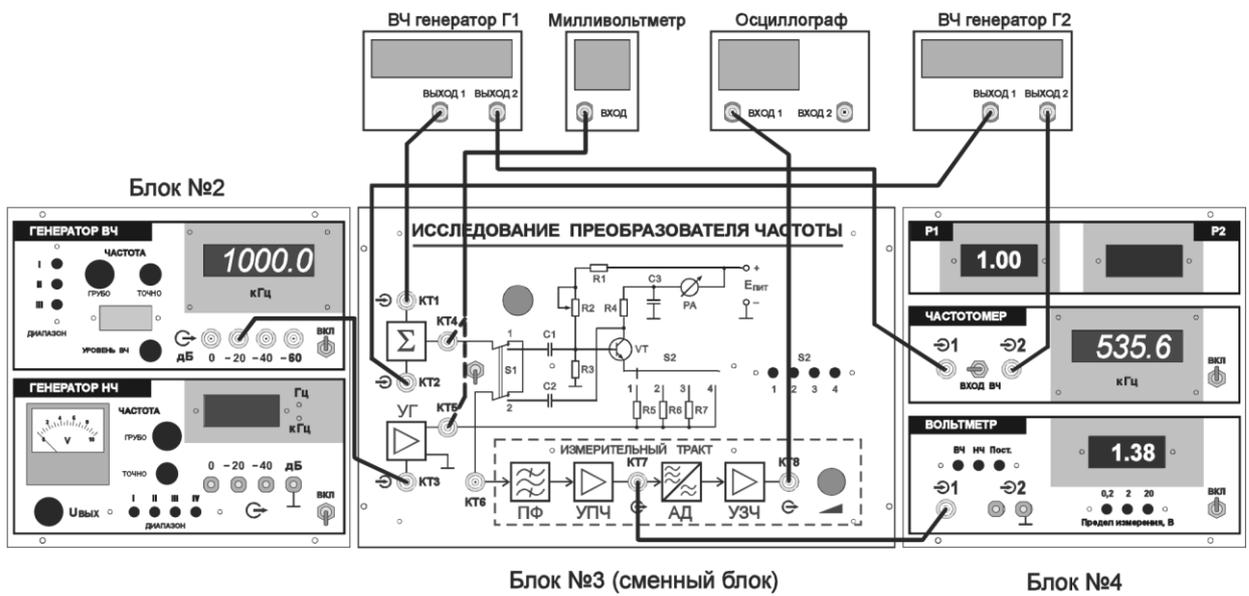


Рис.5. Исследование эффекта блокирования

Контрольные вопросы

1. Как происходит преобразование частоты?
2. Какие ВАХ должен иметь смеситель для напряжения сигнала и гетеродина?
3. Как выбирается промежуточная частота в супергетеродинном приемнике?
4. Какими мерами ослабляется действие помех по побочным каналам приема?
5. Дайте понятие интерференционных свистов в преобразователе частоты.
6. Дайте определение эффекта интермодуляции.
7. Дайте понятие эффекта блокирования.

Лабораторная работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА

Цель работы

Изучить принципы работы и основные характеристики амплитудных детекторов.

Содержание работы

1. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов.
2. Исследование искажений, возникающих из-за избыточной постоянной времени нагрузки.
3. Исследование нелинейных искажений, возникающих вследствие неравенства нагрузок детектора для постоянного и переменного тока.
4. Изучение формы импульсов тока, протекающего через диод.
5. Снятие статических детекторных характеристик.
6. Снятие динамических детекторных характеристик.
7. Исследование линейных искажений в детекторе.
8. Определение коэффициента фильтрации ВЧ напряжения.
9. Исследование детектора, работающего по схеме с удвоением напряжения.
10. Исследование совместной работы УПЧ и амплитудного детектора.

Описание лабораторного макета

Макет включает в себя диодный детектор и цепи коммутации. Внешний вид передней панели макета приведен на рис.1.

Переключатель $S2$ позволяет изменять схему детектора. В положении 1 – последовательная схема на диоде $VD1$, в положении 2 – схема детектора с удвоением напряжения на диодах $VD1$ и $VD2$.

Высокочастотный сигнал поступает на вход макета через коаксиальные разъемы, обозначенные на лицевой панели $KT1$ и $KT2$.

В первом случае сигнал поступает через разделительный конденсатор $C1$ непосредственно на вход детектора. Рабочие частоты в этом случае могут варьироваться в широких пределах (рекомендуемый диапазон - 400 – 500 кГц).

Во втором случае сигнал поступает на детектор через однокаскадный резонансный УПЧ, частота настройки которого (приблизительно 400 – 500 кГц) определяется параметрами колебательного контура $L1 - C2$, а также входной емкостью детектора и емкостью измерительного прибора. Ключ $S1$ позволяет отключать детектор от контура УПЧ.

Переключатель $S3$ изменяет сопротивление нагрузки детектора R_n . Кроме того в положении 5 переключателя параллельно резистору нагрузки подключается конденсатор $C4=50$ нФ (таблица 1)

Таблица 1

Положение переключателя $S3$	1	2	3	4	5
R_n , кОм	51	10	1,5	100	100
C_n , нФ	3				53

Постоянная составляющая тока диода измеряется микроамперметром PA (по схеме, изображенной на панели сменного блока). Реальная величина протекающего тока отображается в миллиамперах на цифровом индикаторе измерителя PI , расположенного на панели №4 лабораторной установки (например показания индикатора **.315** следует читать как 0,315 мА).

Форму тока, протекающего через диод, можно наблюдать в $KT4$ с помощью осциллографа при установке $S4$ в положение 2.

Большинство измерений в процессе выполнения работы проводится при установке переключателей $S1, S2, S4$ в положение 1. В случае, когда используется другая схема коммутации, это оговаривается особо.

Переключатель $S5$ подключает резисторы $R7$ или $R8$, имитирующие различные значения входного сопротивления R_v следующего за детектором усилительного каскада. $R7 = 510$ кОм; $R8 = 6,2$ кОм.

Для выполнения лабораторной работы используются генератор *ВЧ* и генератор *НЧ*, расположенные на панели №2 лабораторной установки, а также вольтметр, расположенный на панели №4.

Дополнительным прибором, необходимым для проведения работы, является двухлучевой (двухканальный) осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Исследовать работу амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов (рис.2).

1.1. Измерить коэффициент выпрямления в режиме сильного и слабого сигнала. Переключатели макета установить в следующее положение: $S1 - 1, S2 - 1, S3 - 1, S4 - 1, S5 - 1$. При этом $R_H = 51 \text{ кОм}$, $C_H = 3 \text{ нФ}$.

Подать в *КТ1* от *ВЧ* генератора немодулированное напряжение $U_{ВХ} = 1 \text{ В}$ с частотой 400 – 500 кГц (напряжение на выходе *НЧ* генератора должно быть равно 0 В). Контроль величины *ВЧ* напряжения осуществить в *КТ3* с помощью вольтметра (панель №4) в режиме «ВЧ».

При этом предел измерения вольтметра не переключается и составляет 2 В.

Измерить с помощью вольтметра (панель №4) значение постоянного напряжения на нагрузке детектора U_- (в *КТ5*). Для этого вольтметр переключить в режим измерения постоянного напряжения. Рассчитать коэффициент выпрямления:

$$K_B = U_- / U_{m \text{ ВХ}},$$

где $U_{m \text{ ВХ}}$ – амплитуда напряжения на входе детектора,
 $U_{m \text{ ВХ}} = 1,414 \cdot U_{ВХ}$.

Уменьшить напряжение на выходе генератора до значения 100 мВ (для этого в *КТ1* подать напряжение с выхода генератора «-20дБ»). Проконтролировать в *КТ3* с помощью вольтметра величину $U_{m \text{ ВХ}}$, измерить U_- и рассчитать коэффициент выпрямления. Сравнить его со значением K_B при сильном сигнале.

1.2. Измерить коэффициент передачи детектора в режиме сильных сигналов (рис.3).

Подать от *ВЧ* генератора немодулированное напряжение $U_{ВХ} = 1 \text{ В}$. Контроль величины *ВЧ* напряжения осуществить в *КТ3* с помощью вольтметра (панель №4) в режиме «ВЧ».

Включить режим внутренней модуляции ВЧ генератора, установить по осциллографу глубину модуляции $m=50\%$.

Синхронизация осциллографа – по входу 2.

Провести одновременное наблюдение входного и выходного сигналов. Убедиться в отсутствии искажений выходного сигнала.

Определить амплитуду напряжения звуковой частоты на выходе детектора $U_{m\Delta}$. Рассчитать коэффициент передачи детектора:

$$K_{\Delta} = U_{m\Delta} / m U_{m0BX}.$$

1.3. Исследовать искажения АМ-сигнала из-за нелинейности детекторной характеристики. Увеличить глубину модуляции входного сигнала до значения $m=90\%$. Убедиться в появлении искажений выходного напряжения.

Уменьшить среднюю амплитуду сигнала на выходе генератора до значения $U_{m0BX} = 100$ мВ. Произвести наблюдение входного и выходного сигналов и убедиться в увеличении искажений.

2. *Исследовать искажения, возникающие из-за избыточной постоянной времени нагрузки.*

2.1. Вычислить критические значения глубины модуляции АМ- сигнала, выше которых не выполняется условие безынерционности нагрузки на частоте модуляции F_M и возможно появление нелинейных искажений:

$$m_{KPD} \approx 1 \sqrt{1 - (\Delta_m \Delta_H)^2},$$

где $\Delta_m \approx 2 \pi F_M$, $\Delta_H = R_H C_H$ - постоянная времени загрузки.

Расчет выполнить при $F_M = 1$ кГц для трех значений постоянной времени, соответствующих сопротивлениям нагрузки $R_H = 51$ кОм и $R_H = 100$ кОм при $C_H = 3$ нФ, а также $R_H = 100$ кОм при $C_H = 53$ нФ.

2.2. При $U_{m0BX} = 1$ В наблюдать на экране осциллографа форму напряжения на нагрузке детектора для указанных в п. 2.1 значениях R_H и C_H . Выбор соответствующей нагрузки обеспечивается установкой переключателя S3 в положение 1, 4 или 5.

2.3. Изменяя глубину модуляции зафиксировать значения глубины модуляции, при которых появляются искажения. Обратит внимание на появление искажений типа “пилы” и на их зависимость

от глубины модуляции и значения Δ_H . Сопоставить экспериментальные значения m_{KPR} с расчетными.

3. Исследовать нелинейные искажения, возникающие вследствие неравенства нагрузок детектора для постоянного и переменного тока.

3.1. Рассчитать теоретическое значение глубины модуляции, при которой возможно появление нелинейных искажений, обусловленных неодинаковыми значениями сопротивления нагрузки детектора постоянному току R_H и переменному току $R_{H\Pi}$:

$$m_{KPR} = R_{H\Pi} / R_H,$$

где $R_{H\Pi} = R_H R_Y / (R_H + R_Y)$.

Расчет выполнить для значений R_H и R_Y , указанных в таблице 2.

Таблица 2

Полож. перекл. S3	R_H	m_{KPR} ТЕОР при		m_{KPR} ИЗМ при	
		$R_Y=510$ кОм S5 в п.1	$R_Y=6,2$ кОм S5 в п.2	$R_Y=510$ кОм S5 в п.1	$R_Y=6,2$ кОм S5 в п.2
1	51 кОм				
2	10 кОм				
3	1,5 кОм				
4	100 кОм				

3.2. Среднюю амплитуду АМ-сигнала U_{m0BX} установить максимально возможной при $m = 50\%$. С помощью осциллографа наблюдать сигналы в КТ6 при различных значениях R_H (S3 в положениях 1-2-3-4) и R_Y (S5 в положениях 1-2). Проследить изменение характера искажений при изменении глубины модуляции и значений R_H и R_Y .

4. Наблюдать форму импульсов тока, протекающего через диод

(рис.4).

4.1. Установить максимально возможную амплитуду немодулированного сигнала U_{mBX} на входе детектора и измерить ее значение. Тумблер $S4$ установить в положение 2.

Наблюдать форму импульсов тока в цепи диода при различных значениях R_H . Синхронизация осциллографа – по входу I .

4.2. Исследовать зависимость угла отсечки (φ) от значений R_H .

Значение φ определить по осциллограмме при $R_H = 51$ кОм, $R_H = 10$ кОм, $R_H = 1,5$ кОм. По шкале микроамперметра зафиксировать значения постоянной составляющей тока диода I_{\square} в каждом случае.

4.3. Рассчитать значения коэффициентов выпрямления при измеренных значениях φ :

$$K_{\varphi} = \cos \varphi$$

и сравнить их со значениями K_B , рассчитанными по выражению

$$K_B = I_{\square} R_H / U_{mBX} .$$

5. Снять статические детекторные характеристики (схема подключений соответствует рис.2).

5.1. Снять зависимость постоянной составляющей тока I_{\square} от напряжения на входе детектора U_{BX} при значении сопротивления нагрузки $R_H = 51$ кОм ($S3$ – в положении 1). От генератора $BЧ$ подать на вход детектора немодулированное напряжение с частотой 400-500 кГц. Изменяя значения U_{BX} в интервале 50-1000 мВ, фиксировать значения I_{\square} . Для каждого значения U_{BX} рассчитать значения амплитуды высокочастотного напряжения на входе детектора

$$U_{mBX} \square \sqrt{2} U_{BX} ,$$

напряжения на нагрузке

$$U_{\square} \square R_H I_{\square} ,$$

коэффициента выпрямления

$$K_B \square U_{\square} / U_{mBX} .$$

Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблицы.

5.2. Повторить исследования п. 5.1. при значении сопротивления нагрузки $R_H = 10$ кОм ($S3$ – в положении 2).

Построить графики зависимостей I_+ , U_+ и K_B от U_{mBX} при $R_H = 51$ кОм и $R_H = 10$ кОм. Сравнить значения K_B в режиме сильных и слабых сигналов.

Тумблер $S4$ перевести в положение 1.

6. Снять динамические детекторные характеристики (схема подключений соответствует рис.3).

Установить значение сопротивления нагрузки $R_H = 10$ кОм ($S3$ – в положении 2).

6.1. При постоянной глубине модуляции $m = 50\%$ изменять напряжение U_{BX} на входе детектора в интервале от 100 до 1000 мВ и фиксировать значение напряжения в $KT5$ $U_{ВЫХ}$. (Измерение U_{BX} проводится в режиме вольтметра «ВЧ», измерение $U_{ВЫХ}$ проводится в режиме «НЧ»).

6.2. Поддерживая постоянным уровень напряжения на входе детектора ($U_{BX} = const$), изменять глубину модуляции в интервале от 10% до 90% и фиксировать $U_{ВЫХ}$. Измерения провести для $U_{BX} = 100$ мВ и $U_{BX} = 1000$ мВ. Рассчитать коэффициент передачи:

$$K_D \approx U_{ВЫХ} / m U_{BX}$$

Построить графики зависимостей $U_{ВЫХ}$ от U_{BX} , $U_{ВЫХ}$ от m , K_D от m . Отметить область, где детекторная характеристика $U_{ВЫХ}$ от U_{BX} имеет нелинейный характер.

7. Исследовать линейные искажения в детекторе (схема соединений согласно рис.3).

Снять характеристику верности воспроизведения детектора. Наблюдать фазовые сдвиги выходного сигнала относительно огибающей.

7.1. Установить максимально возможное значение высокочастотного напряжения на входе детектора и зафиксировать значение U_{BX} с помощью вольтметра.

Установить глубину модуляции генератора ВЧ, равной 50%. Синхронизация осциллографа – по входу 2.

Установить $R_H = 100$ кОм, $C_H = 3$ нФ, $R_Y = 510$ кОм ($S3$ в положении 4, $S5$ в положении 1).

Изменяя F_M в интервале 400 – 16000 Гц при неизменных значениях m и U_{BX} , снять зависимость напряжения низкой частоты U_D в *КТ5* от F_M . Для этого перевести вольтметр в режим измерения *НЧ*.

7.2. Установить $R_H=10$ кОм, $C_H=3$ нФ, $R_V=510$ кОм ($S3$ в положении 2, $S5$ в положении 1). Изменяя F_M в интервале 400 – 16000 Гц при неизменных значениях m и U_{BX} , снять зависимость напряжения низкой частоты U_D в *КТ5* от F_M .

7.3. Построить на одном чертеже графики зависимостей U_D от F_M при $R_H=100$ кОм и $R_H=10$ кОм. Отметить частоты верхнего среза $F_{МАКС}$. Сделать вывод о влиянии значения R_H на степень линейных искажений в области верхних частот модуляции.

7.4. Провести наблюдение фазового сдвига выходного напряжения относительно огибающей входного сигнала на верхних частотах модуляции. Зарисовать осциллограмму.

8. **Определить коэффициент фильтрации ВЧ напряжения.**

8.1. Подать на вход детектора немодулированный сигнал с частотой 400 - 500 кГц и максимально возможной амплитудой. Измерить напряжение на входе детектора U_{BX} .

С помощью осциллографа определить величину высокочастотной составляющей напряжения на нагрузке U_W при значениях $R_H=1,5$ кОм, $R_H=10$ кОм и $R_H=51$ кОм.

8.2. Рассчитать значения коэффициента фильтрации:

$$K_{\Phi} \approx U_{BX} / U_W.$$

Сопоставить полученные значения с ожидаемыми, определенными по формуле

$$K_{\Phi} \approx \Delta f R_H C_H.$$

8.3. Установить $m=50\%$. Наблюдать осциллограммы напряжения в *КТ6* при различных значениях R_H . Обратит внимание на плохую фильтрацию высокочастотного напряжения на нагрузке при $R_H=1,5$ кОм, проявляющуюся в утолщении и размытости линии сигнала.

9. **Исследовать детектор, работающий по схеме с удвоением напряжения.**

Переключатель $S2$ установить в положение 2, переключатели $S1$, $S3$, $S4$ и $S5$ - в положение 1.

9.1. Подать на вход детектора АМ-сигнал с максимальной возможной амплитудой и $m=50\%$. Наблюдать на экране двухканального осциллографа напряжения на входе и выходе детектора.

Провести исследования, аналогичные п. 1. Измеренные значения K_B и K_D сопоставить с соответствующими показателями однодиодного детектора.

9.2. По указанию преподавателя провести исследование других показателей детектора с удвоением напряжения.

Переключатель $S2$ установить в положение 1.

10. Исследовать совместную работу УПЧ и амплитудного детектора (схема подключений соответствует рис.5).

10.1. Снять АЧХ УПЧ.

Отключить детектор от выхода УПЧ; для этого установить тумблер $S1$ в положение 2.

От ВЧ генератора подать на вход УПЧ немодулированное напряжение порядка 1 мВ. Вольтметр перевести в режим измерения ВЧ.

Изменять частоту ВЧ генератора в пределах его перестройки от минимальной до максимальной, фиксировать величину напряжения на выходе УПЧ (в КТ3). Результаты измерений поместить в таблицу.

Построить график нормированной АЧХ УПЧ.

Подключить детектор к выходу УПЧ; для этого установить тумблер $S1$ в положение 1.

Снять АЧХ УПЧ при $R_n = 100$ кОм, $R_n = 10$ кОм и $R_n = 1,5$ кОм . Построить графики нормированных АЧХ. Сделать выводы о влиянии сопротивления нагрузки детектора на параметры УПЧ.

10.2. Снять динамические детекторные характеристики АД с УПЧ.

Переключатель $S3$ установить в положение 4 ($R_n = 100$ кОм).

Подать на вход УПЧ модулированное напряжение порядка 1 мВ с $m=50\%$. Частоту ВЧ генератора установить по максимуму показаний вольтметра.

Синхронизация осциллографа – по входу 2.

Изменяя F_M в интервале 400 – 16000 Гц при неизменных значениях m и $U_{ВХ}$, снять зависимость напряжения низкой частоты U_D в КТ5 от F_M . Для этого перевести вольтметр в режим измерения НЧ.

Построить график зависимости U_D от F_M при $R_H=100$ кОм. Отметить частоту верхнего среза $F_{МАКС}$. Сравнить результатами, полученными в п. 7.3.

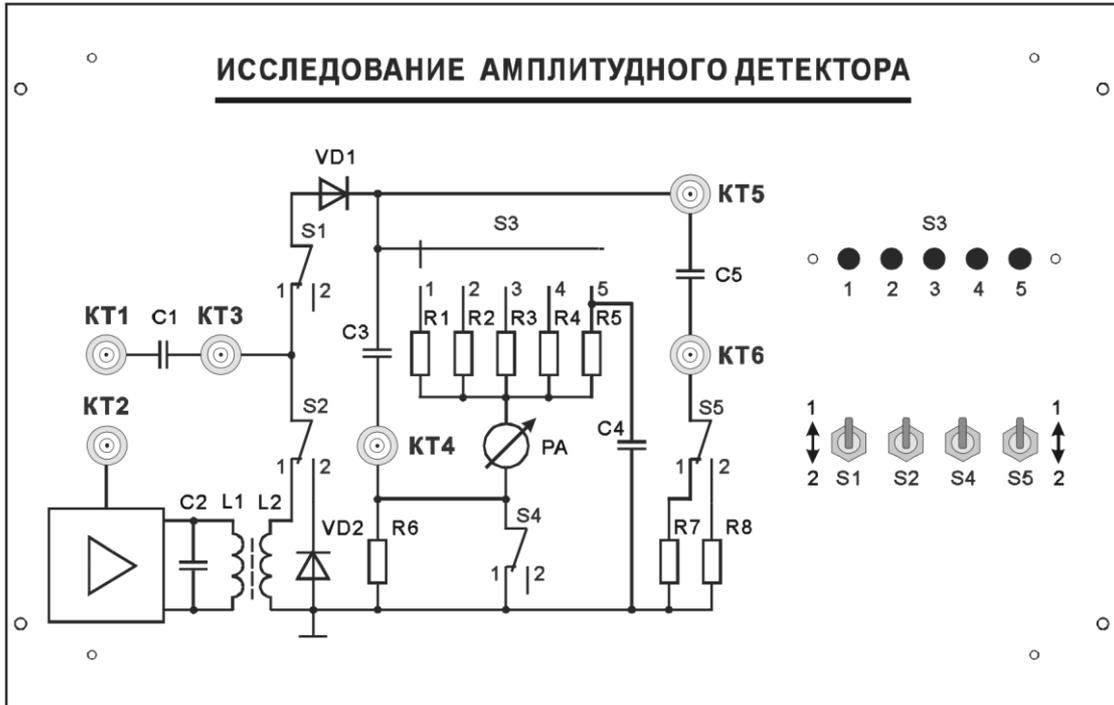


Рис.1. Лицевая панель сменного блока «Исследование амплитудного детектора»

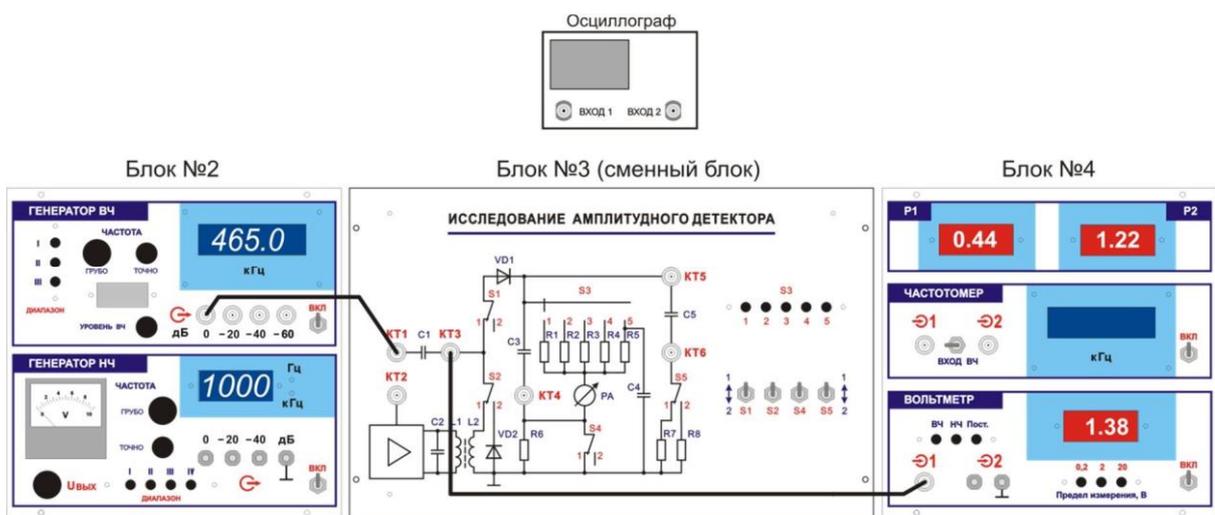


Рис.2. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов

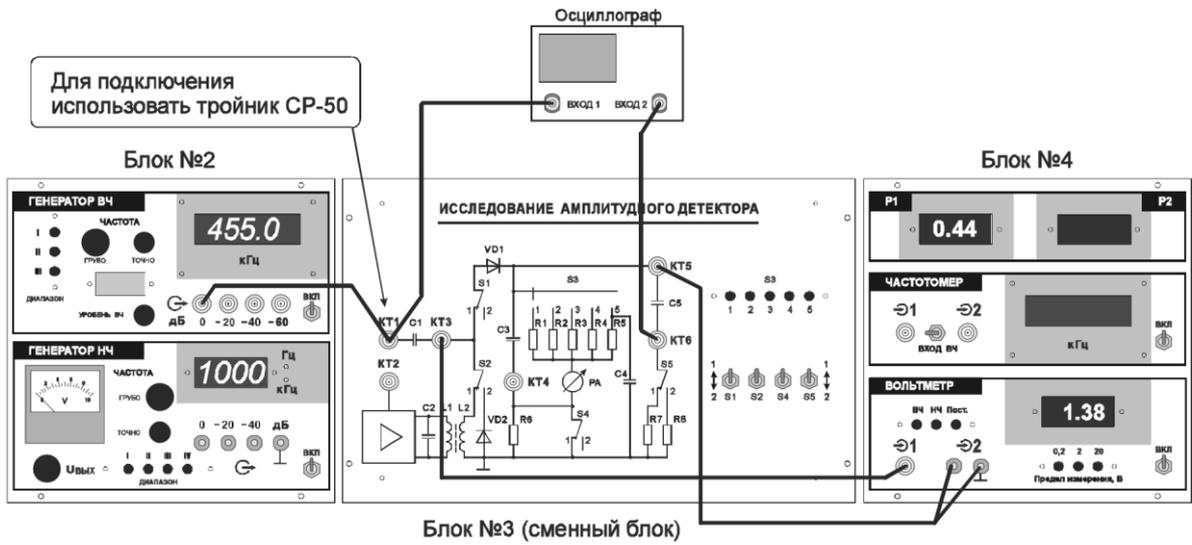


Рис.3. Исследование работы амплитудного детектора в режиме сильных и слабых сигналов (определение коэффициента передачи детектора)

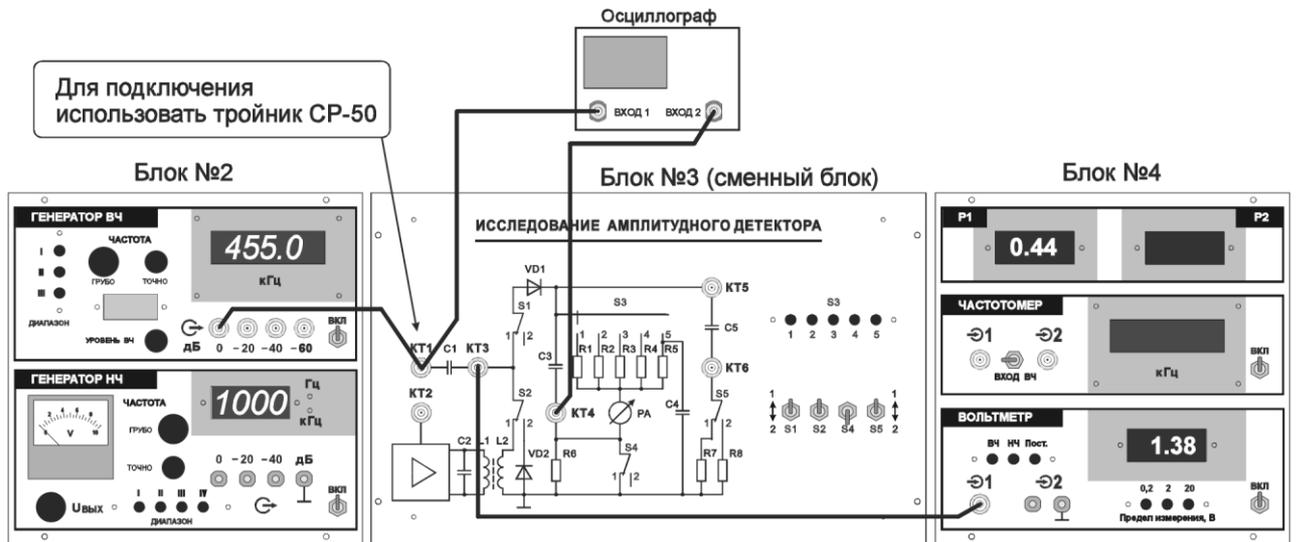


Рис.4. Изучение формы импульсов тока, протекающего через диод

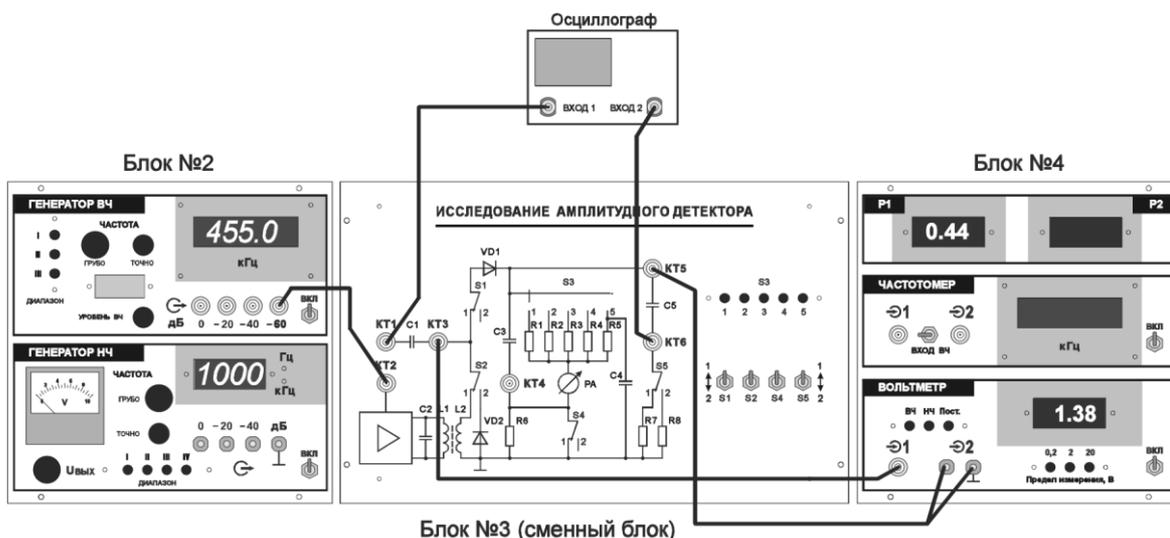


Рис.5. Исследование совместной работы УПЧ и амплитудного детектора
Контрольные вопросы

1. На основе каких систем можно реализовать амплитудный детектор?
2. Поясните принцип работы АД.
3. Какие искажения возникают при детектировании АМ колебаний и какие способы борьбы с ними существуют?
4. Нарисуйте и поясните диаграммы напряжения при детектировании АМ колебаний.
5. Приведите и поясните формы импульсов тока, протекающего через диод.

Внимание!

В сменных блоках «Исследование амплитудного детектора», напряжение с KT5 подается на вход вольтметра P2, который показывает постоянную составляющую выпрямленного детектором переменного напряжения.

Данная модернизация позволяет упростить процесс проведения лабораторной работы, т.к. отпадает необходимость подключения внешнего вольтметра к KT5 для измерения постоянного напряжения на нагрузке детектора $U_{\text{н}}$.

Предел измерения вольтметра P2 равен 2 В.

При исследовании детектора, работающего по схеме с удвоением напряжения, возможно превышение указанного предела. В данном случае рекомендуется уменьшить напряжение на входе детектора на 3 дБ.

Лабораторная работа 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Цель работы

Изучить принципы построения частотных детекторов, экспериментально исследовать процесс детектирования ЧМ - сигналов на основе:

- преобразования изменения частоты колебания в изменение амплитуды с последующим детектированием с помощью амплитудного детектора;
- преобразования изменения частоты колебания в изменение фазы с последующим детектированием с помощью фазового детектора.

Содержание работы

1. Снятие детекторной характеристики частотного детектора на основе расстроенного контура (детектор № 1).
2. Снятие детекторной характеристики дробного частотного детектора (детектор № 2)

3. Снятие детекторной характеристики частотного детектора на основе фазового детектора (детектор №3).
4. Наблюдение и анализ искажений сигнала на выходе детекторов.
5. Снятие частотных характеристик детекторов.
6. Сравнение коэффициентов передачи детекторов.

Описание лабораторного макета

На рис.1. приведена лицевая панель сменного блока «Исследование частотных детекторов»

Макет включает в себя *ВЧ* генератор с возможностью осуществления частотной модуляции и три схемы частотных детекторов.

ВЧ генератор в контрольной точке *КТЗ* формирует *ЧМ* синусоидальное напряжение с регулируемым индексом модуляции и амплитудой U_c . Частота генерации f_c регулируется в диапазоне 22002900 кГц переменным резистором ЧАСТОТА. Амплитуда U_c *ЧМ* напряжения регулируется переменным резистором АМПЛ. Индекс частотной модуляции зависит от величины поданного на *КТ1* модулирующего напряжения низкой частоты U_m от генератора *НЧ* (рекомендуемый диапазон напряжений 0,1 В – 0,5 В).

Макет содержит детекторы, выполненные на основе:

- расстроенного контура и диодного детектора (детектор № 1);
- дробного частотного детектора (детектор № 2);
- фазового детектора с одиночным контуром (детектор №3).

Переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА (*S1* – *S3*) служит для подключения той или иной схемы детектора.

В схемах детекторов №№ 1 и 3 имеется возможность подключения параллельно колебательному контуру резисторов с помощью независимого переключателя *R1-R2*.

Постоянная составляющая напряжения с выхода детектора через переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА подается на *КТ4* и отображается в вольтах на цифровом индикаторе измерителя *P2*, расположенного на панели №4 лабораторной установки.

Для выполнения лабораторной работы также используются:

- генератор *НЧ*, расположенный на панели №2 лабораторной установки. Используется для модуляции напряжения *ВЧ* генератора;

- измеритель $P1$, расположенный на панели №4, отображающий в вольтах напряжение смещения на варикапе $ВЧ$ генератора;
- частотомер, расположенный на панели №4, необходимый для контроля частоты $ВЧ$ генератора.
- вольтметр, расположенный на панели №4, необходимый для измерения величины НЧ напряжения на выходе детектора. Используется в режиме «НЧ».

Дополнительным прибором, необходимым для проведения работы, является двухлучевой (двухканальный) осциллограф.

Порядок выполнения работы

1. Снять модуляционную характеристику $ВЧ$ генератора (зависимость частоты синусоидального напряжения на выходе генератора от напряжения смещения варикапа).

Произвести соединения согласно рис.2. Развертку осциллографа синхронизировать по входу I .

Ручкой «Частота» изменять напряжение смещения на варикапе $ВЧ$ генератора от минимального до максимального. Напряжение смещения отображается в вольтах цифровым индикатором измерителя $P1$. Частота генератора определяется частотомером.

Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

Напряжение смещения $U_{см}$, В							
Частота генератора f_c , Гц							

Построить зависимость $f_c=f(U_{см})$. По графику определить девиацию частоты генератора при различных напряжениях смещения и амплитудах НЧ напряжения на варикапе (по заданию преподавателя).

На экране осциллографа наблюдать осциллограмму напряжения на выходе $ВЧ$ генератора (в $КТЗ$).

2. Снять детекторную характеристику частотного детектора на основе расстроенного контура (детектор № 1).

Для этого получить зависимость постоянной составляющей U_0 на выходе частотного детектора от изменения частоты сигнала при отсутствии модуляции ($U_m = 0$).

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 1.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять частоту напряжения на выходе ВЧ генератора f_c в пределах 2200-2900 кГц, при этом фиксировать величину U_0 в КТ4 по показаниям индикатора измерителя P2.

Провести измерения для двух величин добротности Q резонансного контура детектора: подключен резистор $R1$ (Q_1); подключен резистор $R2$ (Q_2).

Результаты измерений занести в таблицы. Построить детекторные характеристики $U_{вых} = f(f_c)$ для различных Q . Определить частоты максимально линейных участков детекторной характеристики (возрастающего f_{cp1} и убывающего f_{cp2}).

Снять детекторную характеристику дробного частотного детектора (детектор № 2). Для этого получить зависимость постоянной составляющей U_0 на выходе частотного детектора от изменения частоты сигнала при отсутствии модуляции ($U_m = 0$).

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 2.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять частоту напряжения на выходе ВЧ генератора f_c в пределах 2200-2900 кГц, при этом фиксировать величину U_0 в КТ4 по показаниям индикатора измерителя P2.

Результаты измерений занести в таблицу. Построить детекторную характеристику $U_{вых} = f(f_c)$.

Определить среднюю f_{cp} частоту на максимально линейном участке детекторной характеристики.

Снять детекторную характеристику фазового детектора с одиночным контуром (детектор №3). Для этого получить зависимость постоянной составляющей U_0 на выходе частотного детектора от изменения частоты сигнала при отсутствии модуляции ($U_m = 0$).

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 3.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять частоту напряжения на выходе ВЧ генератора f_c в пределах 2200-2900 кГц, при этом фиксировать величину U_0 в КТ4 по показаниям индикатора измерителя P2.

Провести измерения для двух величин добротности Q резонансного контура детектора: подключен резистор $R1$ (Q_1); подключен резистор $R2$ (Q_2).

Результаты измерений занести в таблицы. Построить детекторные характеристики $U_{\text{вых}}=f(f_c)$ для различных Q .

Определить среднюю f_{cp} частоту на максимально линейном участке детекторной характеристики.

3. Наблюдать низкочастотный сигнал на выходе детектора.

Оценить искажения низкочастотного сигнала на выходе детектора при отклонении значения f_c от f_{cp} для данного вида детектора.

Произвести соединения согласно рис.3. Развертку осциллографа синхронизировать по входу 2.

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 1.

Установить переменным резистором ЧАСТОТА частоту ВЧ генератора, равную f_{cp} для данного вида детектора. Переменный резистор «АМПЛ.» установить в крайнее положение по часовой стрелке.

Установить частоту генератора НЧ 1000 Гц. Установить напряжение на выходе генератора НЧ максимально возможным в пределах $U_m = 100 - 500$ мВ таким образом, чтобы напряжение низкой частоты U_D на выходе детектора (в КТ4), наблюдаемое на экране осциллографа, имело вид неискаженной синусоиды.

Переменным резистором ЧАСТОТА изменять величину f_c и наблюдать искажение формы низкочастотного сигнала U_D на экране осциллографа. Обратит внимание на взаимное соответствие частоты f_c , частот перегибов детекторной характеристики и вида искажений.

Сделать необходимые выводы.

Обратит внимание на взаимное соответствие фазы напряжения на выходе детектора и знака крутизны детекторной характеристики на частоте f_{cp} для данного вида детектора.

Переменным резистором «АМПЛ.» изменять амплитуду напряжения на выходе ВЧ генератора от максимальной до минимальной. Отметить изменение амплитуды НЧ напряжения на выходе детектора.

Аналогично провести наблюдения для детекторов №№ 2 и 3. Примечание. Для детекторов №№ 1 и 3 наблюдения провести при подключенных резисторах R1.

Сделать необходимые выводы.

4. Снять частотные характеристики детекторов. Произвести соединения согласно рис.4.

Установить переключатель ВЫБОР ДЕТЕКТОРА в положение 1.

Включить генератор низкой частоты. $F_{НЧ}=1000$ Гц. Установить напряжение на выходе генератора $НЧ$ (напряжение модулирующего сигнала U_m на входе генератора высокой частоты в $КТ1$) $U_m = 100$ мВ.

Установить переменным резистором ЧАСТОТА частоту генератора высокой частоты, равную средней частоте линейного участка детекторной характеристики f_{cp} для данного вида детектора.

Вольтметр перевести в режим «НЧ».

Получить зависимость эффективного значения напряжения U_{\square} на выходе детектора от частоты модуляции F_m , изменяя частоту модуляции F_m в диапазоне 20 Гц - 20 кГц. Результаты измерений занести в таблицу.

F_m , кГц	0,02	...	...	...	...	...	20,0
U_{\square} , В							

Аналогично провести измерения для детекторов №№ 2 и 3. Примечание. Для детекторов №№ 1 и 3 измерения провести при подключенных резисторах $R1$.

5. Сравнить коэффициенты передачи детекторов на различных частотах модуляции.

Сделать необходимые выводы.

6. Дополнительное задание (схема соединений согласно рис.2).

Вход 1 осциллографа подключить к $КТ3$. Развертку осциллографа синхронизировать по входу 1.

Установить частоту генератора $НЧ$ 1000 Гц. Установить напряжение на выходе генератора $НЧ$ $U_m = 0$ мВ.

Переключатель горизонтальной развертки осциллографа установить в положение 0,5 мкс/дел. Получить устойчивое изображение нескольких периодов синусоидального напряжения высокой частоты без модуляции.

Увеличивая напряжение на выходе генератора $НЧ$ U_m от 0 мВ до 500 мВ наблюдать «размывание» изображения в правой части экрана, т.е. изменение мгновенного значения фазы напряжения $ВЧ$ в процессе частотной модуляции.

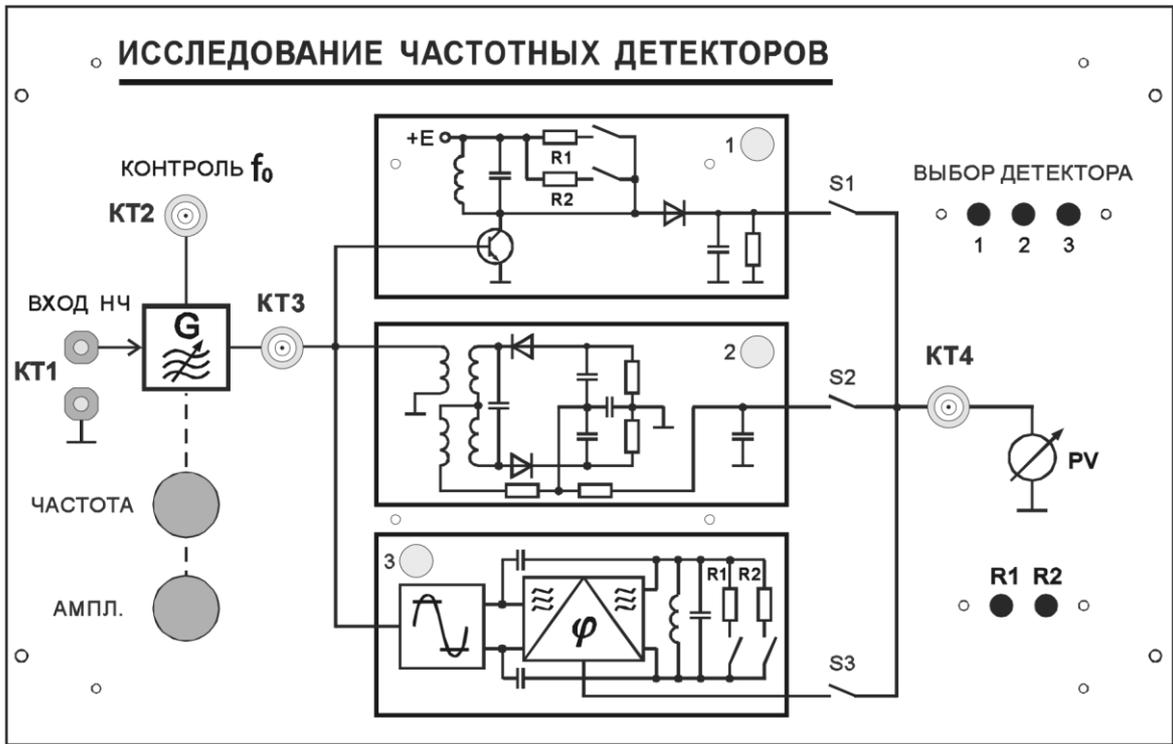


Рис.1. Лицевая панель сменного блока «ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ»

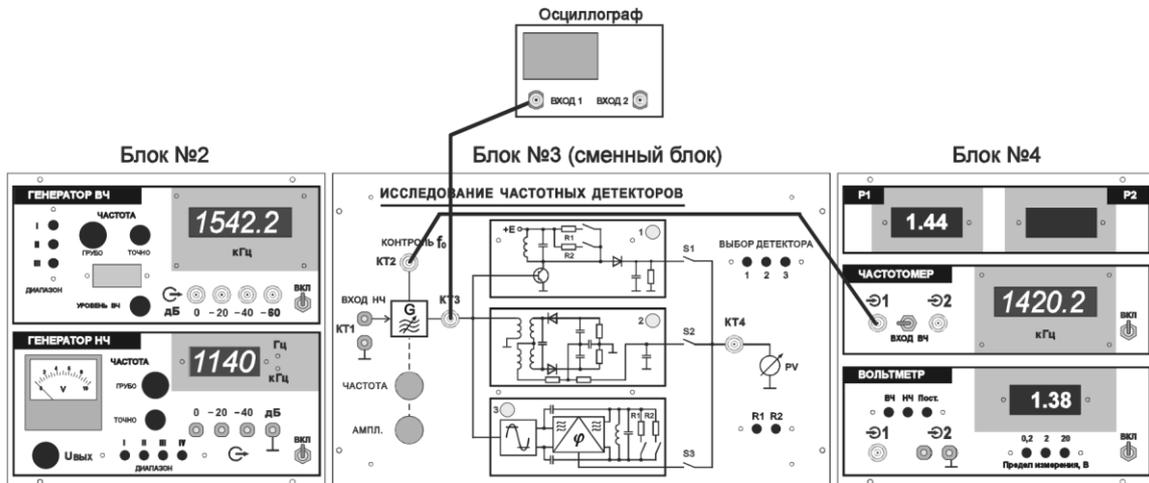


Рис.2. Соединение элементов лабораторной установки для снятия модуляционной характеристики генератора

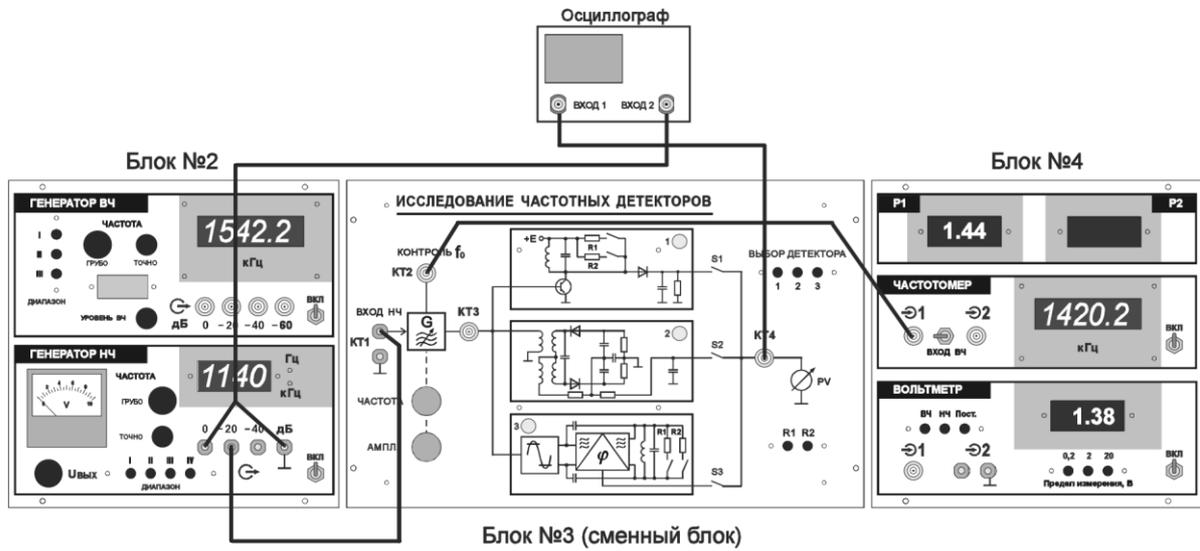


Рис.3. Соединение элементов лабораторной установки для наблюдения формы НЧ напряжения на выходе детектора

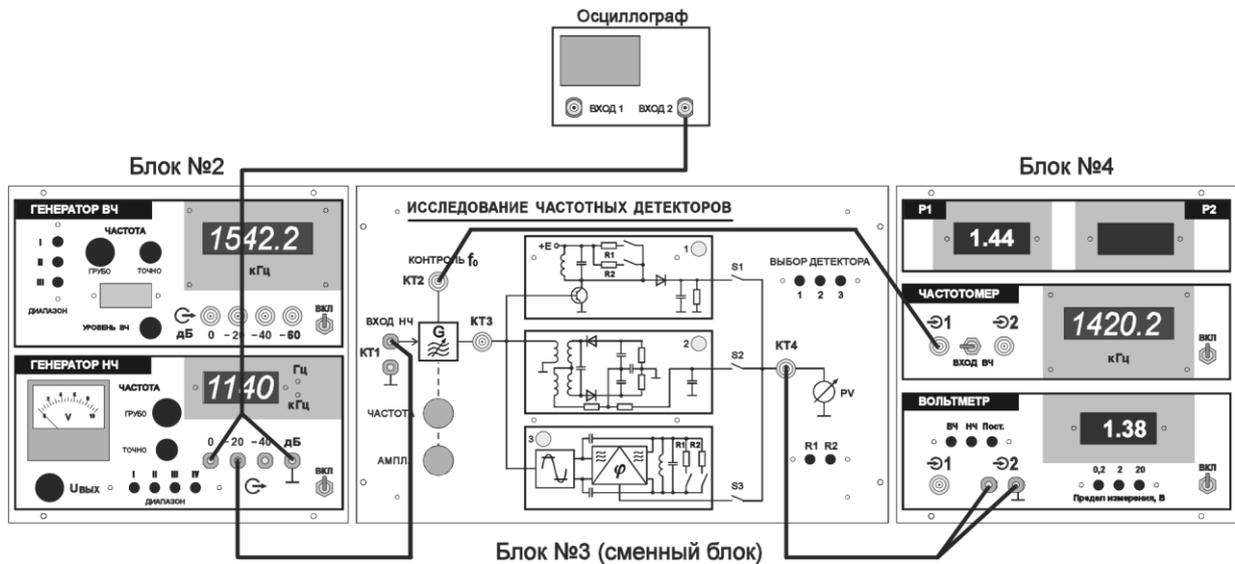


Рис.4. Соединение элементов лабораторной установки для снятия частотных характеристик детекторов

Контрольные вопросы

1. В каких устройствах осуществляется частотное детектирование?
2. Укажите особенности однотактных и балансных ЧД.
3. Приведите принципиальные схемы и поясните принцип работы ЧД с преобразованием отклонения частоты в изменение амплитуды.
4. Каковы принципиальная схема и принцип действия ЧД с одиночным контуром, преобразующим изменение частоты в изменение фазы?
5. Приведите классификацию ЧД.
6. Поясните полученные частотные характеристики детекторов.

Лабораторная работа 8

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

Цель работы

Изучить принципы построения систем автоматической регулировки усиления (APУ) приемников, экспериментально исследовать инерционную систему APУ, сопоставить результаты с теоретическими сведениями о системах APУ.

Основные вопросы курса, изучаемые перед выполнением работы

1. Назначение, принцип действия и классификация систем APУ.
2. Эффективность системы APУ и способы ее повышения.
3. Выбор постоянной времени фильтра системы APУ.

Содержание работы

1. Определение максимального коэффициента усиления тракта.
2. Снятие регулировочной характеристики.
3. Исследование амплитудно-амплитудных характеристик тракта.
4. Исследование влияния постоянной времени фильтра системы APУ на искажения АМ-сигнала.
5. Расчет амплитудно-амплитудных характеристик тракта и сравнение их с результатами эксперимента.

Описание лабораторного макета

На рис.1. приведен внешний вид лицевой панели сменного блока «Исследование системы APУ».

Исследуемый макет представляет собой усилитель промежуточной частоты (УПЧ) приемника с амплитудным детектором и системой APУ. Регулировка усиления осуществляется изменением режима по постоянному току транзисторов УПЧ. При выключенной системе APУ в режиме ручной регулировки усиления (переключатель S2 в положении «РРУ») для этой цели служит потенциометр «РРУ», выведенный на переднюю панель. Значение напряжения регулировки усиления, подаваемого на каскады УПЧ, отображается в вольтах на цифровом

индикаторе измерителя $P1$, расположенного на панели №4 лабораторной установки.

С выхода УПЧ (гнездо $KT3$) усиленный сигнал подается на амплитудный детектор. Продетектированный сигнал (гнездо $KT5$) поступает на усилитель постоянного тока (УПТ) системы АРУ. Коэффициент усиления УПТ зависит от положения переключателя $S5$. К выходу УПТ ($KT6$) подключен однозвенный фильтр низкой частоты ФНЧ, постоянная времени которого T зависит от положения переключателя $S3$ и равна 0,01с или 5 мкс. Первое значение типично для инерционных систем АРУ приемников радиосвязи с амплитудной модуляцией. Второе значение отражает ситуацию, когда постоянная времени ФНЧ выбрана неправильно и действие системы АРУ приводит к искажению закона модуляции АМ-сигнала.

При включенной системе АРУ (переключатель $S2$ в положении АРУ) с ростом сигнала на входе УПЧ (гнездо $KT2$) возрастает постоянное напряжение на выходе детектора. Это напряжение усиливается УПТ и через ФНЧ воздействует на транзисторы УПЧ, уменьшая его коэффициент усиления. С помощью переключателя $S4$ можно включить задержку срабатывания АРУ.

Структурная схема лабораторного макета включает также генератор прямоугольных импульсов (ГИ) и амплитудный модулятор (АМ). При подаче на $KT1$ немодулированного синусоидального напряжения ПЧ и при включенном ГИ (тумблер $S1$ в положении ВКЛ) на вход УПЧ поступает напряжение промежуточной частоты с прямоугольным законом модуляции. Именно данный закон модуляции позволяет более наглядно продемонстрировать влияние инерционности системы АРУ на форму сигнала при различных величинах постоянной времени фильтра низкой частоты.

Для выполнения лабораторной работы используются встроенные измерительные приборы лабораторной установки:

- измеритель $P1$, расположенный на панели №4,

отображающий в вольтах значение напряжения регулировки усиления;

- генератор ВЧ, расположенный на панели №2;
- генератор НЧ, расположенный на панели №2; □
вольтметр, расположенный на панели №4.

Дополнительными приборами, необходимыми для проведения работы, являются:

- двухлучевой (двухканальный) осциллограф; □ милливольтметр переменного напряжения.

Порядок выполнения работы

1. Определить максимальное значение коэффициента усиления УПЧ (рис.2).

$$K_{УПЧ \text{ макс}} = U_{\text{вых УПЧ}} / U_{\text{вх УПЧ}}$$

Генератор импульсов выключен.

Система АРУ выключена (S2 в положении РРУ).

Включить генератор ВЧ на панели №2.

Установить частоту генератора ВЧ $f_{\text{ген}} \square 455$ кГц .

Установить на выходе генератора ВЧ немодулированное напряжение ($m=0$ %). Для этого необходимо, чтобы напряжение на выходе НЧ генератора было равно 0 В.

Установить выходное напряжение ВЧ генератора $U_{\text{вых ген}} = U_{\text{вх УПЧ}} \square 5$ мВ (-46 дБ В).

Для этого необходимо подать напряжение на вход УПЧ с выхода генератора «-40 дБ» и на шкале индикатора уровня ВЧ с помощью регулятора «Уровень ВЧ» установить стрелку на значение «-6 дБ»

Напряжение на выходе УПЧ (в КТ3) измеряется внешним вольтметром

Напряжение РРУ выставляется таким образом, чтобы усиление УПЧ было максимальным.

2. Снять регулировочную характеристику УПЧ (зависимость коэффициента усиления УПЧ $K_{УПЧ}$ от величины напряжения регулирования $U_{\text{рег}}$).

Для этого необходимо подать на вход УПЧ (КТ2) немодулированное переменное напряжение $U_{\text{вх УПЧ}} \square 5$ мВ, изменять потенциометром РРУ напряжение регулирования от 0 до 12 В (фиксировать значения $U_{\text{рег}}$ по показаниям измерителя Р1) и фиксировать $U_{\text{вых УПЧ}}$ в КТ3. На основании результатов эксперимента рассчитать и построить график зависимости $K_{УПЧ}$ от $U_{\text{рег}}$.

$U_{\text{рег}}, \text{ В}$	0	1	2	3	...	...	...	12
$U_{\text{вых УПЧ}}, \text{ В}$								

$K = U_{\text{вых УПЧ}} / U_{\text{вх УПЧ}}$								
--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. **Определить коэффициент усиления УПТ $K_{\text{УПТ}}$ при различных положениях переключателя S5 (рис.3).**

$$K_{\text{УПТ}} = U_{\text{вых УПТ}} / U_{\text{вх УПТ}}$$

Для проведения измерений необходимо на вход УПЧ подать модулированное напряжение промежуточной частоты порядка 5 мВ. Модуляция ВЧ генератора осуществляется напряжением низкой частоты, подаваемым от НЧ генератора, расположенного на панели №2.

Глубина модуляции зависит от величины напряжения НЧ.

Установить максимальное усиление УПЧ.

Тумблер S4 «ЗАДЕРЖКА АРУ» установить в положение ВЫКЛ.

Включить питание НЧ генератора. Установить его частоту порядка 1000 Гц.

Наблюдать на экране осциллографа напряжение в КТ3.

Изменяя выходное напряжение НЧ генератора регулятором « $U_{\text{вых}}$ », добиться глубины модуляции порядка $m=50\%$.

Затем:

а) изменяя глубину модуляции и усиление УПЧ добиться напряжения низкой частоты на входе УПТ (в КТ5) порядка 10 - 20 мВ. Записать величину $U_{\text{вх УПТ}}$;

б) измерить напряжение низкой частоты на выходе УПТ (в КТ6) при различных положениях (K1, K2, K3) переключателя S5
УСИЛЕНИЕ УПТ. Измерение производится вольтметром панели №4 в режиме «НЧ».

Положение переключателя S5	K1	K2	K3
$U_{\text{вых УПТ}}, \text{ В в КТ6}$			
$K_{\text{УПТ}} = U_{\text{вых УПТ}} / U_{\text{вх УПТ}}$			

4. **Снять и построить амплитудную характеристику УПЧ (зависимость $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}}$) при разомкнутой петле АРУ и максимальном усилении УПЧ (схема соединений на рис.2):**

- переключатель S2 - в положении «РРУ»;
- генератор НЧ выключен ($m=0\%$);

- переменным резистором РРУ установить максимальное напряжение РРУ;
- в *КТЗ* измерять напряжение на выходе *УПЧ*;
- затем изменять выходное напряжение *ВЧ* генератора от 0,1 мВ до 60 – 100 мВ .

Величина напряжения на выходе *ВЧ* генератора, выраженная в дБВ, определяется алгебраической суммой показаний индикатора УРОВЕНЬ ВЧ и ослаблением, указанным рядом с соответствующим разъемом *ВЧ* генератора. (Например: напряжение снимается с разъема «-40 дБ», показания индикатора УРОВЕНЬ ВЧ «-12 дБ», значит с выхода *ВЧ* генератора снимается напряжение –52 дБВ или 2,51 мкВ). Таблица перевода значений уровня напряжения из относительных единиц в абсолютные приведена в *приложении*.

Величины напряжений в *КТ2* и *КТЗ* фиксировать в таблице.

$U_{ex\ UПЧ}$, дБВ												
$U_{ex\ UПЧ}$, мВ												
$U_{вых\ UПЧ}$, мВ												

По полученным данным построить зависимость $U_{вых\ UПЧ}=f(U_{ex\ UПЧ})$.

5. Снять и построить амплитудную характеристику *УПЧ*

(зависимость $U_{вых}$ от U_{ex}) при замкнутой петле *APU*:

- переключатель *S2* установить в положение *APU*.

В остальном методика та же, что в п.4.

Измерения проводить при различных положениях переключателей *S4* и *S5*.

$U_{ex\ UПЧ}$, дБВ							
$U_{ex\ UПЧ}$, мВ							
$U_{вых\ UПЧ}$, мВ	Задержка <i>APU</i> выкл	<i>K1</i>					
	Задержка <i>APU</i> выкл	<i>K2</i>					
	Задержка <i>APU</i> выкл	<i>K3</i>					
	Задержка <i>APU</i> вкл	<i>K1</i>					
	Задержка <i>APU</i> вкл	<i>K2</i>					
	Задержка <i>APU</i> вкл	<i>K3</i>					

По полученным данным построить зависимости $U_{\text{вых УПЧ}}=f(U_{\text{вх УПЧ}})$ в тех же координатных осях, что и в п.4.

Провести оценку эффективности системы АРУ. Для этого определить изменение уровня выходного сигнала (в децибелах) при увеличении входного на 50дБ относительно $U_{\text{вх УПЧ}} = -60\text{дБВ}$.

6. Определить значения входных уровней, начиная с которых возникает искажение АМ-сигнала (рис.4).

Для проведения измерений необходимо на вход УПЧ подать модулированное напряжение промежуточной частоты порядка 5 мВ. Модуляция ВЧ генератора осуществляется напряжением низкой частоты, подаваемым от НЧ генератора, расположенного на панели №2.

Глубина модуляции зависит от величины напряжения НЧ.

Установить максимальное усиление УПЧ.

Установить переключатель S3 в положение «П1».

Включить питание НЧ генератора. Установить его частоту порядка 1000 Гц.

Наблюдать на экране осциллографа напряжение в КТ3.

Изменяя выходное напряжение НЧ генератора регулятором «U_{вых}», добиться глубины модуляции порядка $m=50\%$.

Для трех случаев:

-РРУ;

-АРУ с задержкой при КЗ; -АРУ

без задержки при КЗ

определить максимальные значения входного напряжения $U_{\text{вх УПЧ}}$, при которых становятся заметны на глаз искажения огибающей выходного сигнала в КТ3 и на выходе амплитудного детектора (в КТ4).

Оценить увеличение динамического диапазона тракта при использовании системы АРУ.

7. Исследовать влияние постоянной времени ФНЧ на работу системы АРУ при усилении АМ напряжения.

7.1. На вход УПЧ подать модулированное напряжение промежуточной частоты порядка 5 мВ.

АРУ включена. Задержка АРУ выключена.

Наблюдать на экране осциллографа напряжения в КТ3 и КТ4.

Установить переключатель S3 в положение «П2».

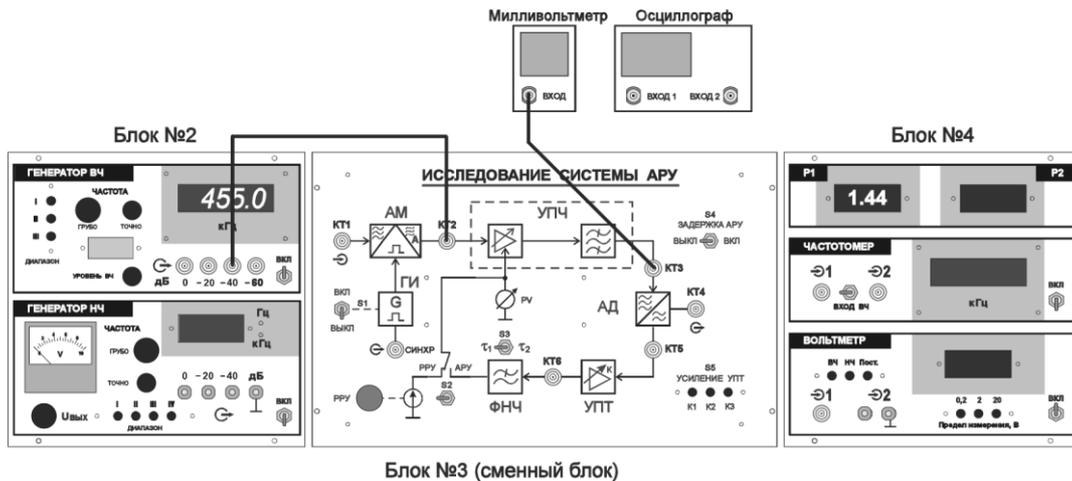


Рис.2. Определение максимального коэффициента усиления УПЧ

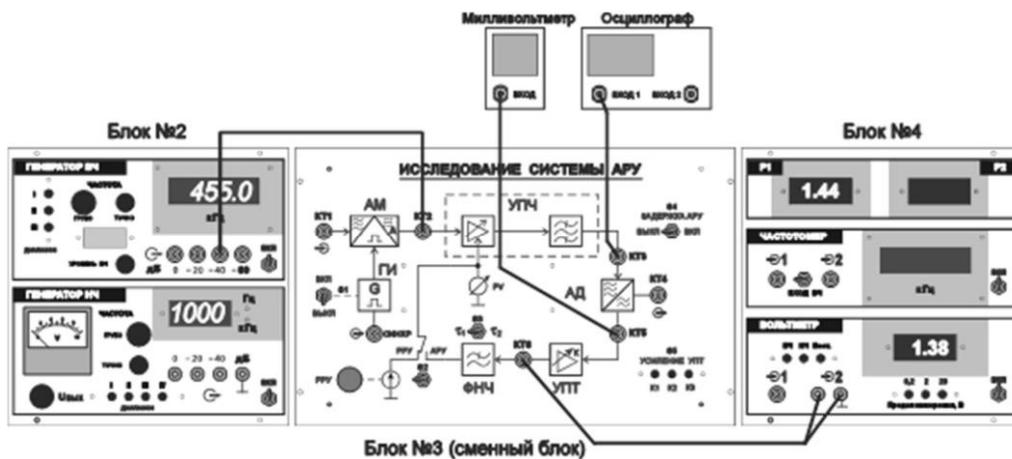


Рис.3. Определение коэффициента усиления УПТ

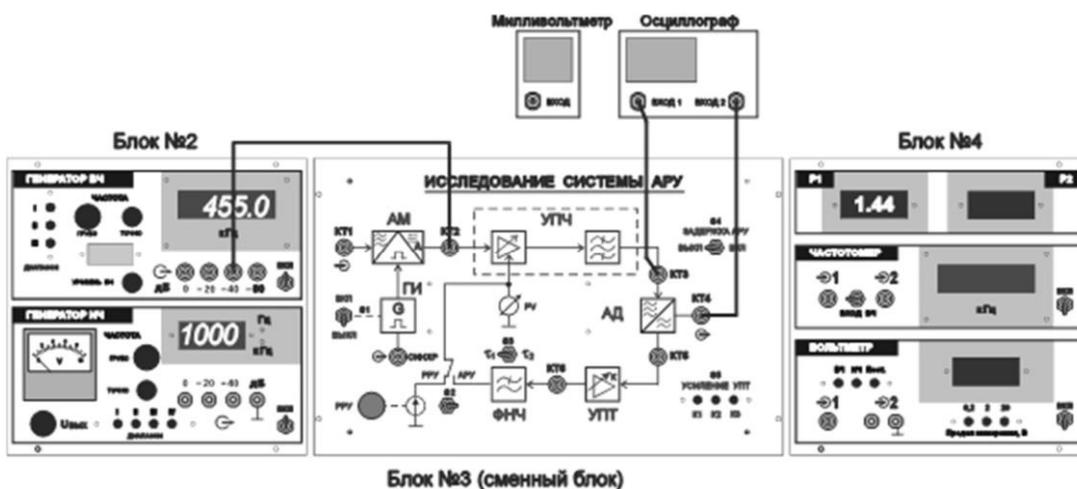


Рис.4. Определение входных уровней, при которых возникают искажения АМ-сигнала

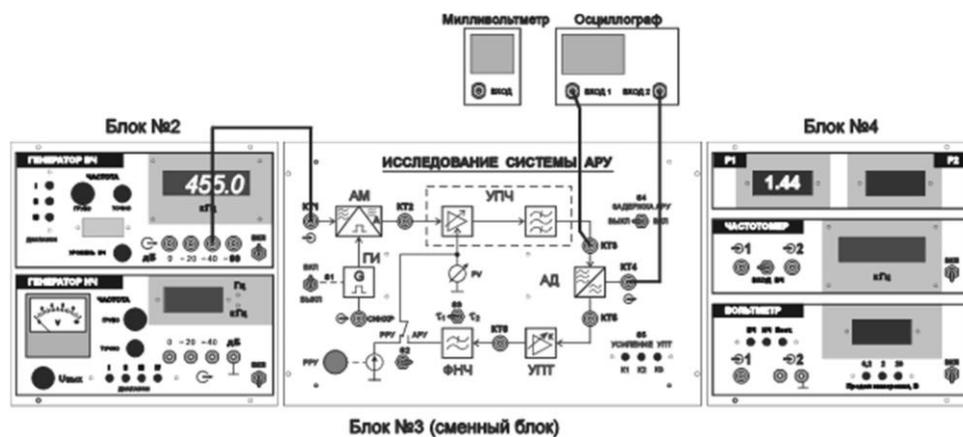


Рис.5. Исследование влияния постоянной времени ФНЧ на работу АРУ при усилении АМ-сигнала

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды и типы регулировок в приемниках.
2. Каково назначение регулировок?
3. Какие способы регулировки усиления резонансного усилителя Вы знаете?
4. Каким образом осуществляется регулировка коэффициента усиления усилителя и каковы ее преимущества и недостатки?
5. Приведите структурные схемы обратной, прямой и комбинированной АРУ и проведите их сравнительный анализ.
6. Каковы структурная схема и назначение элементов АРУ?
7. Приведите схему фильтра АРУ. Каково назначение фильтра в системе АРУ?

ПРИЛОЖЕНИЕ

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА ЗНАЧЕНИЙ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЕДИНИЦ В АБСОЛЮТНЫЕ

Таблица позволяет перевести значения относительных уровней напряжений, выраженных в децибелах относительно 1 В (дБ В), в абсолютные единицы напряжения – микровольты (мкВ), которые между собой связаны следующими выражениями

$$L(\text{дБВ}) = 20 \lg E (\text{мкВ}) \cdot 10^{-6} / 1 (\text{В}),$$

$$E (\text{мкВ}) = 10^{[L(\text{дБВ}) + 120] / 20}.$$

Значению напряжения в мкВ, указанному в каждой клетке таблицы, соответствует относительный уровень, равный алгебраической сумме чисел, стоящих в заголовках, соответствующих данным строке и столбцу.

Уровни, дБВ	-4	-3	-2	-1	0
-80	63,1	70,8	79,4	89,1	100
-70	200	224	251	282	316
-60	631	708	794	891	1000
-50	2000	2240	2510	2820	3160
-40	$6,31 \cdot 10^3$	$7,08 \cdot 10^3$	$7,94 \cdot 10^3$	$8,91 \cdot 10^3$	10^4

-30	$20,0 \cdot 10^3$	$22,4 \cdot 10^3$	$25,1 \cdot 10^3$	$28,2 \cdot 10^3$	$31,6 \cdot 10^3$
-20	$63,1 \cdot 10^3$	$70,8 \cdot 10^3$	$79,4 \cdot 10^3$	$89,1 \cdot 10^3$	10^5
-10	$200 \cdot 10^3$	$224 \cdot 10^3$	$251 \cdot 10^3$	$282 \cdot 10^3$	$316 \cdot 10^3$
0	$631 \cdot 10^3$	$708 \cdot 10^3$	$794 \cdot 10^3$	$891 \cdot 10^3$	10^6

Уровни, дБВ	-9	-8	-7	-6	-5
-80	35,5	39,8	44,7	50,1	56,2
-70	112	126	141	159	178
-60	355	398	447	501	562
-50	1120	1260	1410	1590	1780
-40	$3,55 \cdot 10^3$	$3,98 \cdot 10^3$	$4,47 \cdot 10^3$	$5,01 \cdot 10^3$	$5,62 \cdot 10^3$
-30	$11,2 \cdot 10^3$	$12,6 \cdot 10^3$	$14,1 \cdot 10^3$	$15,9 \cdot 10^3$	$17,8 \cdot 10^3$
-20	$35,5 \cdot 10^3$	$39,8 \cdot 10^3$	$44,7 \cdot 10^3$	$50,1 \cdot 10^3$	$56,2 \cdot 10^3$
-10	$112 \cdot 10^3$	$126 \cdot 10^3$	$141 \cdot 10^3$	$159 \cdot 10^3$	$178 \cdot 10^3$
0	$355 \cdot 10^3$	$398 \cdot 10^3$	$447 \cdot 10^3$	$501 \cdot 10^3$	$562 \cdot 10^3$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О. П., Туров А. И Учебник для ВУЗов. Аналоговая и цифровая электроника. М., Радиосвязь, 2000 г.
2. Радиоприёмные устройства. Учебник для вузов/ Н.Н.Фомин, Н.Н.Буга, О.В.Головин и др.; Под ред.Н.Н. Фомина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 520 с.: ил.
3. Головин О.В. Радиоприемные устройства. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с.: ил.
4. Онищук А.Г., Забеньков И.И., Амелин А.М. Радиоприёмные устройства. Уч. пособие. Минск, ООО «Новые знания», 2005. – 240 с.
5. А.Абдуазизов. Электралоқа назарияси. (Дарслик). – Т.: «Фан ва технология», 2011, 416 б.
6. А.Абдуазизов, Д.Давронбеков. Радиоузатиш ва қабул қилиш қурилмалари. Ўқув қўлланма. –Т.: “Фан ва технология”, 2011, 272 б.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
<i>Лабораторная работа 1</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО УСИЛИТЕЛЯ.....	4
<i>Лабораторная работа 2</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО УСИЛИТЕЛЯ.....	11
<i>Лабораторная работа 3</i> ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ.....	22
<i>Лабораторная работа 4</i>	

ИССЛЕДОВАНИЕ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО ПРИЕМНИКА 28

<i>Лабораторная работа</i>	3
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ	42
<i>Лабораторная работа 6</i>	54
ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА	54
<i>Лабораторная работа 7</i>	66
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ	66
<i>Лабораторная работа 8</i>	74
ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ	75
ПРИЛОЖЕНИЕ	84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	85

УСТРОЙСТВА ПРИЁМА СИГНАЛОВ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

В МОБИЛЬНЫХ

*Сборник лабораторных работ и
методические указания по их выполнению*

Рассмотрено на заседании кафедры ТМС
11 февраля 2014 г. (протокол №25)
и рекомендовано к печати

Рекомендовано к печати научно-методическим
советом ТУИТ (протокол №7(68) от 20.03.2014 г.)

Составители:

А.А.Абдуазизов

Д.А.Давронбеков

Э.В.Ни

М.М.Назаров

Х.Ф.Алимджанов

Ответственный редактор: к.т.н.,
проф.

А.А.Абдуазизов

Корректор:

Абдуллаева С.Х.

Босишга рухсат этилди 19.01.2015 й.

Бичими 60x84 1/16. Босма табағи 5,5 Адади 50.

Буюртма – № 5

**Тошкент ахборот технологиялари университети «Нашр-
матбаа» бўлимида чоп этилди.**

Тошкент ш., Амир Темур кўчаси, 108-уй.