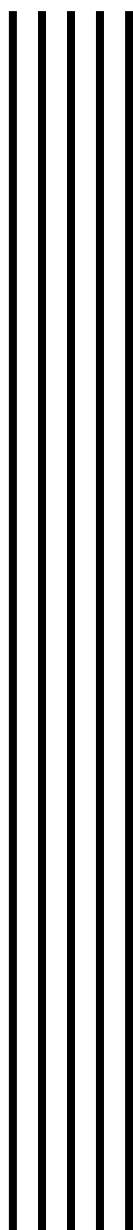


Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине
“ПРИЁМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ”
для студентов дневной и заочной форм обучения
направления 6.050901 — «Радиотехника»
Часть 1

Севастополь
2012

УДК 621.396.62 (75)

Лабораторный практикум по дисциплине “Приём и обработка сигналов” для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.050901 — «Радиотехника»: в 2 ч., Ч.1 / СевНТУ; сост. С.Р. Зиборов. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. — 54 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам всех форм обучения при выполнении лабораторных работ по первой части дисциплины “Приём и обработка сигналов”.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники (протокол № 3 от 22 октября 2012 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: канд. техн. наук, доцент кафедрой радиотехники и телекоммуникаций Савочкин А.А.,

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

СОДЕРЖАНИЕ

Принятые сокращения.....	4
Введение	5
1. Правила оформления отчета по лабораторной работе	6
2. Лабораторная работа № 1 “Исследование входных цепей приемника”	7
3. Лабораторная работа № 2 “Исследование резонансного усилителя”	16
4. Лабораторная работа № 3 “Исследование преобразователя частоты”	24
5. Лабораторная работа № 4 “Исследование амплитудного детектора”	35
6. Лабораторная работа №5 “Исследование вещательного радиоприемника” ...	46
Библиографический список	53
Приложение А Образец титульного листа	54

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АД — амплитудный детектор
АРУ — автоматическая регулировка усиления
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика
БП — блок питания
ВЦ — входная цепь
Г — гетеродин
Гр — громкоговоритель
ГСС — генератор стандартных сигналов
Д — детектор (демодулятор)
ДВ — длинные волны
ЗК — зеркальный канал
ГНЧ — генератор низкой частоты
КВ — короткие волны
КК — комбинационный канал
МВ — милливольтметр
ОК — основной канал
ПК — прямой канал
ПУ — предварительный усилитель
ПФ — полосно-пропускающий фильтр
ПЧ — преобразователь частоты
УКВ — ультракороткие волны
УНЧ — усилитель низкой частоты
УПЧ — усилитель промежуточной частоты
УРЧ — усилитель радиочастоты
СВ — средние волны
СВЧ — сверхвысокая частота
СК — соседний канал
См — смеситель
ФНЧ — фильтр нижних частот
ЦВ — цифровой вольтметр
ЦЧ — цифровой частотомер

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина “Прием и обработка сигналов” изучается студентами специальности 07090.701 “Радиотехника” дневной и заочной форм обучения в течение двух семестров. В данные методические указания включены пять лабораторных работ, соответствующих лабораторному практикуму по первой части дисциплины.

Каждая лабораторная работа выполняется в течение двухчасового занятия бригадой из 2...3 студентов.

Перед выполнением лабораторной работы студенты обязаны:

- представить и защитить отчет по предыдущей лабораторной работе;
- изучить методические указания по предстоящей лабораторной работе;
- ознакомиться с правилами включения и эксплуатации измерительных приборов, входящих в состав лабораторной установки;
- ответить на контрольные вопросы, которые приведены в конце описания каждой лабораторной работы.

Студенты, не выполнившие вышеуказанные требования, к работе не допускаются.

В начале работы бригада студентов должна собрать лабораторную установку. Питание измерительных приборов и лабораторного макета включается только после проверки преподавателем правильности сборки установки.

В процессе выполнения работы студенты должны вести протокол, в котором фиксируются результаты экспериментов. При проведении измерений рекомендуется использовать только те приборы, которые указаны в описании выполняемой лабораторной работы. При проведении измерений рекомендуется использовать только те приборы, которые указаны в описании выполняемой лабораторной работы.

При выполнении очередного опыта рекомендуется сначала произвести этот опыт без каких-либо записей, что позволяет убедиться в работоспособности лабораторной установки и выявить общий характер исследуемой зависимости. При этом следует приблизительно отметить линейные и нелинейные участки зависимости, что позволит правильно выбрать интервал между отсчетами независимой переменной величины (частоты, напряжения и т.п.), пределы ее изменения, а также число отсчетов, достаточных для выявления особенностей исследуемой зависимости. Затем данный опыт повторяется с фиксацией результатов эксперимента, которые заносятся в соответствующие таблицы протокола лабораторной работы. После завершения работы преподаватель просматривает и подписывает протокол выполненной работы. Каждая лабораторная работа выполняется в течение двухчасового занятия бригадой из 2...3 студентов.

1. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе оформляется на основании протокола, в котором фиксируются результаты, полученные в процессе выполнения лабораторной работы.

Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в [1] и должен содержать:

- титульный лист;
- постановку задачи исследования;
- структурную схему лабораторной установки;
- результаты экспериментов и расчетов;
- выводы.

Образец оформления титульного листа приведен в Приложении А.

При постановке задач исследования необходимо указать цель лабораторной работы и задание, которое необходимо выполнить в процессе работы.

Вид структурной схемы лабораторной установки, приводимой в отчете, конкретизирован в методических указаниях по каждой лабораторной работе.

Результаты экспериментов и расчетов должны быть представлены в виде таблиц и расчетных формул. При описании результатов экспериментов необходимо указать условия каждого эксперимента, озаглавить таблицы с экспериментальными данными, пояснить расчетные формулы.

По полученным экспериментальным данным и результатам расчетов необходимо построить графики исследуемых зависимостей и сопроводить их соответствующими подрисуночными подписями.

Выводы должны носить конкретный характер и соответствовать полученным результатам. Не следует подменять выводы перечислением выполненных измерений и наблюдений. Необходимо пояснить особенности исследованных зависимостей, оценить соответствие расчетных и экспериментальных данных. В случае существенного расхождения расчетных и экспериментальных данных необходимо высказать соображения о возможных причинах, вызвавших такое расхождение. Если причиной расхождения явилась неисправность лабораторной установки или действие факторов, которые можно исключить путем выполнения дополнительных измерений, то следует повторно выполнить измерения на исправной лабораторной установке, либо выполнить дополнительные измерения.

Ответственность за содержание отчета несут все члены бригады.

Защита отчета по выполненной лабораторной работе производится каждым студентом индивидуально на очередном лабораторном занятии. В процессе защиты проверяются: правильность оформления отчета, знание студентами методики проведения экспериментов, умение пояснять полученные зависимости и обосновывать выводы по работе.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 “ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИЕМНИКА”

2.1. Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование характеристик одноконтурных входных цепей с различными видами связи с антенной.

2.2. Краткие теоретические сведения

Входной цепью называется пассивная частотно-избирательная цепь, которая включается на входе радиоприемника между антенно-фидерным трактом и первым активным каскадом (усилителем радиочастоты или смесителем) и предназначена для согласования приемника с антенно-фидерным трактом, а также для подавления побочных каналов приема (прямого и зеркального).

В вещательных приемниках обычно применяют одноконтурные входные цепи в виде параллельного LC -контура, а в профессиональных — двухконтурные в виде двух связанных параллельных LC -контуров.

По виду связи с антенной различают входных цепей с емкостной связью, с трансформаторной связью и с комбинированной связью с антенной

На рис. 2.1 изображены схемы одноконтурных входных цепей, исследуемые в лабораторной работе.

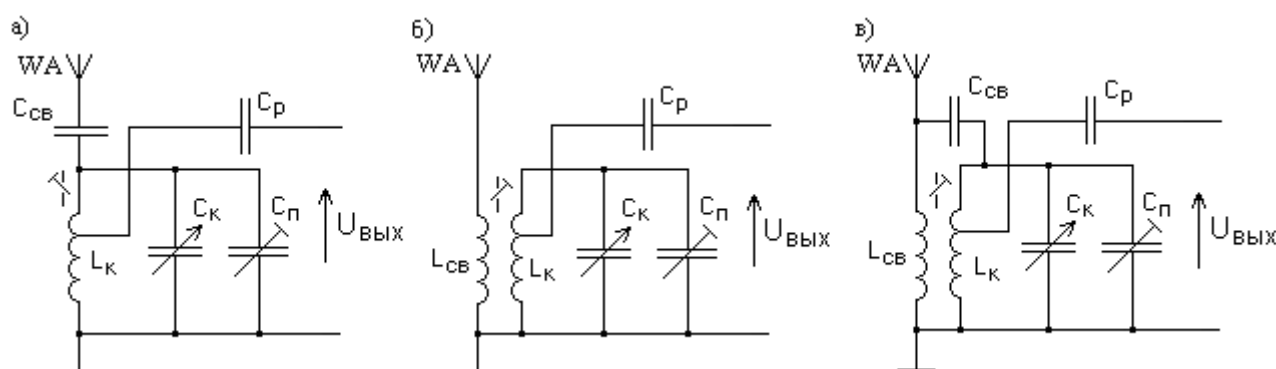


Рис. 2.1 — Одноконтурные входные цепи: (а) с внешней емкостной связью; (б) с трансформаторной связью; (в) с комбинированной связью с антенной

На рис. 2.1 использованы следующие условные обозначения: WA — приемная антенна; $C_{св1}$ — емкость связи; $L_{св1}$ — индуктивность связи; L_k — индуктивность контура; C_k и C_p — настроечная и подстроечные емкости контура; C_p — разделительная емкость; $Y_{вх}$ — входная проводимость активного каскада (УРЧ или смесителя), следующего за входной цепью.

Входная цепь приемника настраивается на частоту f_0 , равную частоте f_c принимаемого сигнала, который называют основным каналом. Прямым каналом называется сигнал промежуточной частоты $f_{пр}$. Зеркальным каналом называется сигнал, частота которого $f_{зк}$ отстоит от частоты гетеродина на промежуточную частоту в сторону, противоположную частоте основного канала. В

случае верхней настройки гетеродина $f_{\text{ЗК}} = f_{\text{Г}} + f_{\text{пр}} = f_{\text{с}} + 2f_{\text{пр}}$, а в случае нижней настройки гетеродина $f_{\text{ЗК}} = f_{\text{Г}} - f_{\text{пр}} = f_{\text{с}} - 2f_{\text{пр}}$,

Во входных цепях с индуктивной и комбинированной связью индуктивность связи $L_{\text{св1}}$ и эквивалентное сопротивление антенны образуют колебательный контур с резонансной частотой $f_{\text{А}}$. Обычно входную цепь проектируют так, чтобы частота $f_{\text{А}}$ находилась вне диапазона приема.

Если выполнено условие $f_{\text{А}} > f_0$, то такой режим работы входной цепи называют режимом укорочения, поскольку резонансная длина волны антенного контура короче длины волны, на которую настроена входная цепь. Если выполнено условие $f_{\text{А}} < f_0$, то такой режим работы входной цепи называют режимом удлинения, поскольку резонансная длина волны антенного контура больше длины волны, на которую настроена входная цепь. По сравнению с режимом укорочения режим удлинения обеспечивает меньшее изменение резонансного коэффициента передачи входной цепи при ее перестройке.

На рис. 2.2 изображены амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) $K(f)$ одноконтурной входной цепи. На этом же рисунке показана частотная диаграмма расположения основного канала ОК, прямого канала ПрК и зеркального канала ЗК приема супергетеродинного приемника для случая верхней настройки гетеродина, при которой частота гетеродина выше частоты сигнала.

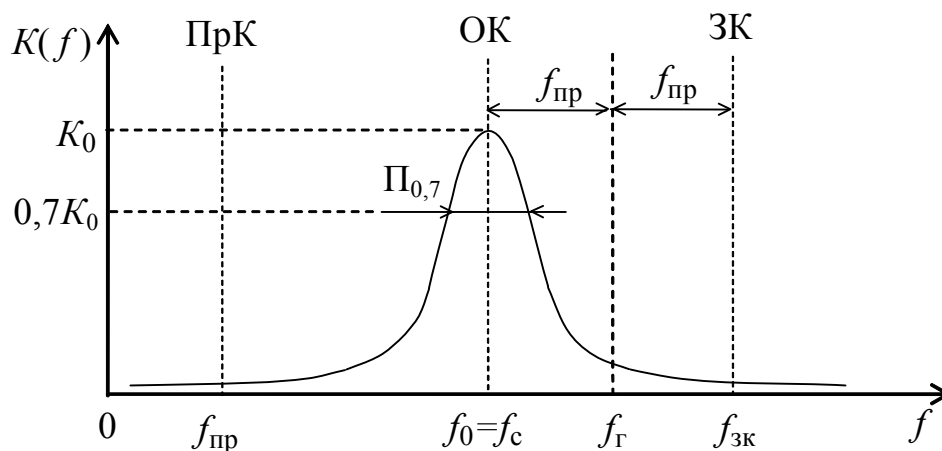


Рис. 2.2 — АЧХ одноконтурной входной цепи и частотная диаграмма возможных каналов приема супергетеродинного приемника

Основными характеристиками входных цепей, определяемыми при выполнении лабораторной работы, являются:

— резонансный коэффициент передачи K_0 , представляющий собой коэффициент передачи на резонансной частоте f_0 (см. рис. 2.2),

$$K_0 = U_{\text{вых } 0} / U_{\text{вх } 0} \quad (2.1)$$

где $U_{\text{вых } 0}$ и $U_{\text{вх } 0}$ — действующие значения выходного и входного напряжений

входной цепи на частоте f_0 ;

— частотная избирательность Se , выраженная в децибелах,

$$Se = 20 \lg \frac{K(f)}{K_0}; \quad (2.2)$$

где $K(f)$ — модуль коэффициента передачи на произвольной частоте f ;

— полоса пропускания $\Pi_{0,7}$ (см. рис. 2.2);

— добротность

$$Q = \frac{f_0}{\Pi_{0,7}}. \quad (2.3)$$

Из рис. 2.2 видно, что по мере увеличения частоты настройки f_0 входной цепи, что соответствует сдвигу АЧХ входной цепи и частоты гетеродина вправо по оси частот, частотная избирательность (2.2) по прямому каналу увеличивается, а по зеркальному каналу уменьшается.

При работе с ненастроенной антенной, реактивное сопротивление которой может изменяться в больших пределах, связь входной цепи с антенной делается слабой. При этом антенна вносит во входную цепь небольшую расстройку по частоте и малое затухание, обычно не более 10...20% от собственного затухания LC -контура, что позволяет сохранить избирательные свойства входной цепи, но приводит к уменьшению ее коэффициента передачи.

Если каскад, следующий за входной цепью, выполнен на полевом транзисторе и имеет большое входное сопротивление, то может быть применено полное подключение этого каскада к LC -контуру входной цепи. Если следующий каскад выполнен на биполярном транзисторе, то применяют, как правило, частичное включение такого каскада к LC -контуру для того, чтобы входная цепь не утратила избирательных свойств из-за шунтирования контура малым входным сопротивлением каскада. Частичное включение реализуют с помощью автотрансформаторной, трансформаторной или емкостной связи следующего каскада с LC -контуром.

2.3. Описание лабораторной установки

На рис. 2.3. изображена структурная схема лабораторной установки

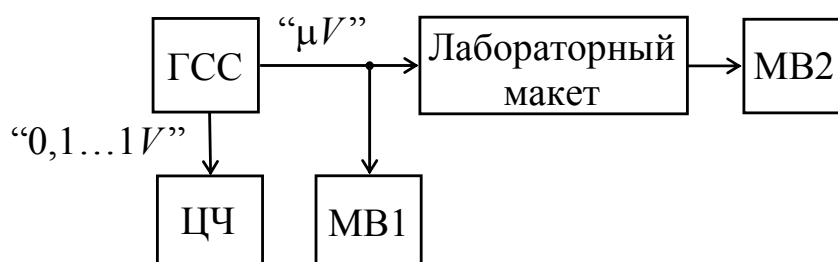


Рис. 2.3 — Структурная схема лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из генератора стандартных сигналов ГСС, лабораторного макета, двух милливольтметров МВ1, МВ2 переменного напряжения и цифрового частотомера ЦЧ.

Электрическая схема лабораторного макета показана на рис. 2.4.

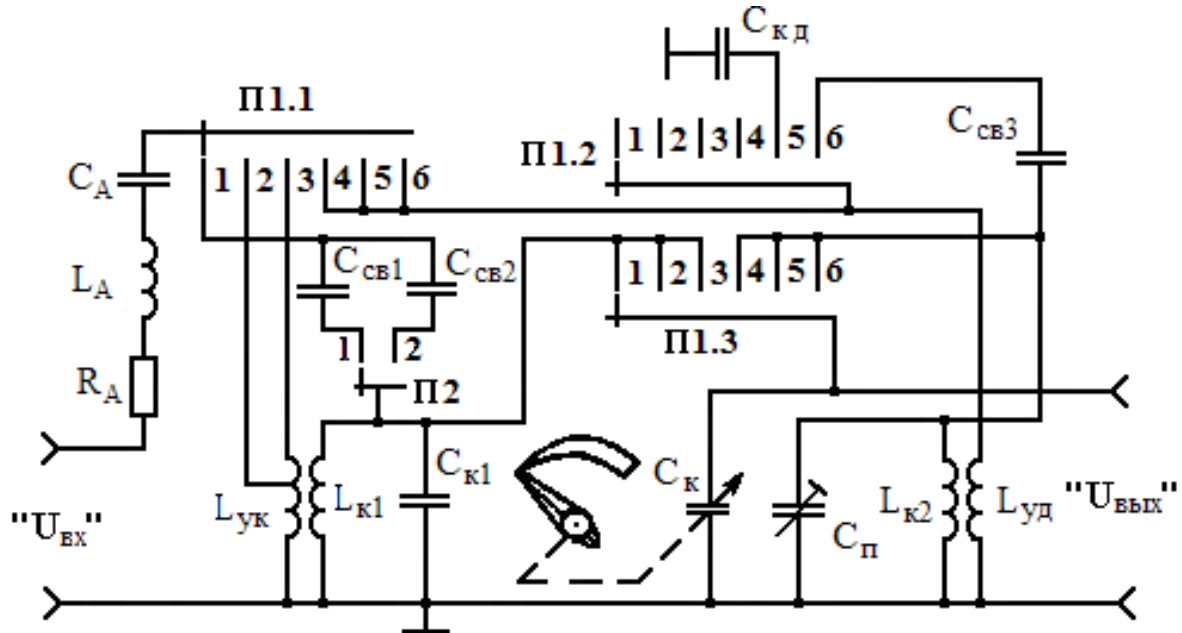


Рис. 2.4 — Электрическая схема лабораторного макета

Последовательный колебательный контур R_A, C_A, L_A служит эквивалентом приемной антенны. Собственно входная цепь представляет собой параллельный колебательный контур, перестраиваемый по частоте с помощью конденсатора переменной емкости C_K , ось ротора которого выведена на переднюю панель макета. Переключатель $\Pi 1$ позволяет изменять вид связи входной цепи с эквивалентом антенны (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1 — Виды входных цепей и режимов их работы

Положение переключателя $\Pi 1$	Вид связи входной цепи с антенной	Режим работы входной цепи
1	внешнеемкостная	
2, 3	трансформаторная	режим “укорочения”
4, 5	трансформаторная	режим “удлинения”
6	индуктивно-емкостная	режим “удлинения”

Если переключатель $\Pi 1$ установлен в одно из положений “1”, “2”, “3”, то колебательный контур состоит из индуктивности $L_{к1}$ и емкостей $C_{к1}$ и C_K . Если переключатель $\Pi 1$ установлен в одно из положений “4”, “5”, “6”, то колебательный контур образован индуктивностью $L_{к2}$ и емкостями C_K и $C_{п}$.

Переключатель П2 позволяет переключать емкости связи $C_{св1}$, $C_{св2}$ входной цепи с антенной.

2.4. Задание на лабораторную работу

Измерить зависимость параметров одноконтурных входных цепей от частоты настройки. Измерить частотную избирательность входных цепей по соседнему, прямому и зеркальному каналам, полагая расстройку по соседнему каналу равной $\Delta f_{ск} = 10$ кГц, а промежуточная частота $f_{пч} = 128$ кГц. При определении частоты зеркального канала считать, что гетеродин имеет верхнюю настройку.

2.5. Подготовка лабораторной установки к работе

2.5.1. Собрать лабораторную установку согласно схеме (см. рис. 2.3). Выход “ μV ” генератора сигналов подключить к входу “ $U_{вх}$ ” макета и первому милливольтметру МВ1, а выход “0,1-1 V” — к цифровому частотомеру. Выход “ $U_{вых}$ ” макета подключить ко второму милливольтметру МВ2.

2.5.2. Подключить измерительные приборы к сети, а затем включить их питание и прогреть приборы 2...3 минуты.

2.5.3. Установить переключатель частотных диапазонов генератора сигналов в положение “0,3...1 МГц” и с помощью встроенных в него аттенюаторов установить на входе макета немодулированное напряжение $U_{вх} = 100$ мВ по показаниям милливольтметра МВ1.

2.6. Исследование зависимости параметров входной цепи с внешней емкостной связью с антенной от частоты настройки

2.6.1. Установить переключатели П1 и П2 в положение “1”.

2.6.2. Вращая ручку, расположенную на передней панели лабораторного макета, установить ротор конденсатора переменной емкости C_k в положение, соответствующее настройке входной цепи на минимальную частоту $f_{0\min}$.

2.6.3. Плавно перестраивая частоту генератора сигналов, добиться резонанса входной цепи, при котором напряжение на ее выходе достигает максимального значения $U_{вых0}$. При перестройке генератора следует поддерживать постоянство уровня входного напряжения макета, изменяя затухание плавного аттенюатора, встроенного в генератор. Измеренные значения напряжения $U_{вых0}$ и резонансной частоты $f_{0\min}$ занести в таблицу 2.2.

2.6.5. Рассчитать резонансный коэффициент передачи входной цепи по формуле (2.1) и полученное значение занести в таблицу 2.2.

2.6.6. Определить полосу пропускания $\Pi_{0,7}$. Для этого, плавно изменяя частоту генератора, найти частоты $f_1 < f_{0\min}$ и $f_2 > f_{0\min}$, на которых напряжение $U_{вых}$ принимает значение $0,7U_{вых0}$. Рассчитать полосу пропускания $\Pi_{0,7} = f_2 - f_1$. Используя формулу (2.3) рассчитать добротность Q входной

цепи. Найденные значения $\Pi_{0,7}$ и Q занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 — Результаты измерения параметров входной цепи с внешней емкостной связью с антенной

Параметр	Резонансная частота настройки входной цепи		
	$f_{0 \min} =$ кГц	$f_{0 \text{ ср}} =$ кГц	$f_{0 \max} =$ кГц
$U_{\text{вых } 0}, \text{ мВ}$			
K_0			
$\Pi_{0,7}, \text{ кГц}$			
Q			
$U_{\text{вых ск}}, \text{ мВ}$		—	—
$Se_{\text{ск}}$		—	—
$U_{\text{вых пр}}, \text{ мВ}$		—	—
$Se_{\text{пр}}, \text{ дБ}$		—	—
$U_{\text{вых зк}}, \text{ мВ}$	—	—	
$Se_{\text{зк}}, \text{ дБ}$	—	—	

Примечание. Значения, отмеченные в ячейках таблицы прочерком, не измеряются.

2.6.7. Настроить генератор сигналов на частоту соседнего канала $f_{\text{ск}} = f_{0 \min} + \Delta f_{\text{ск}}$, где $\Delta f_{\text{ск}} = 10 \text{ кГц}$ расстройка по соседнему каналу, измерить выходное напряжение макета $U_{\text{вых ск}}$ и результат измерения занести в таблицу 2.2.

2.6.8. Настроить генератор сигналов на частоту прямого канала $f_{\text{пр}} = 128 \text{ кГц}$, измерить выходное напряжение макета $U_{\text{вых пр}}$ и результат измерения занести в таблицу 2.2.

2.6.9. Установить ротор конденсатора переменной емкости $C_{\text{к}}$ приблизительно в среднем положении, которое соответствует настройке входной цепи на некоторую среднюю $f_{0 \text{ ср}}$ частоту, и повторить измерения и расчеты, аналогичные п.п. 2.6.3...2.6.6. Найденные значения занести в таблицу 2.2.

2.6.10. Установить ротора конденсатора переменной емкости $C_{\text{к}}$ в крайнее положение, соответствующее настройке входной цепи на максимальную $f_{0 \max}$ частоту, и повторить измерения и расчеты, аналогичные п.п. 2.6.3....2.6.6. Найденные значения занести в таблицу 2.2.

2.6.11. Настроить генератор сигналов на максимальную частоту зеркального канала $f_{\text{зк max}} = f_{0 \max} + 2f_{\text{пр}}$, где $f_{\text{пр}} = 128 \text{ кГц}$ — промежуточная частота, измерить выходное напряжение макета $U_{\text{вых зк}}$ и результат измерения занести

в таблицу 2.2.

2.6.12. Используя формулу (2.2) рассчитать частную избирательность по соседнему $Se_{ск} = 20\lg(U_{вых\ ск}/U_{вых0})$, прямому $Se_{пр} = 20\lg(U_{вых\ пр}/U_{вых0})$ и зеркальному $Se_{зк} = 20\lg(U_{вых\ зк}/U_{вых0})$ каналам и найденные значения занести в таблицу 2.2.

2.7. Исследование входной цепи с трансформаторной связью с антенной в режиме укорочения

2.7.1. Установить переключатель П1 в положение “2” или “3” и измерить резонансный коэффициент передачи K_0 входной цепи при ее настройке на частоты $f_{0\ min}$, $f_{0\ ср}$, $f_{0\ max}$, выполняя действия аналогичные п. 2.63...2.6.5, 2.6.9, 2.6.10. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 — Результаты измерения параметров входной цепи с трансформаторной связью с антенной в режиме укорочения

Параметр	Частота настройки входной цепи		
	$f_{0\ min} =$ кГц	$f_{0\ ср} =$ кГц	$f_{0\ max} =$ кГц
$U_{вых\ 0}$, мВ			
K_0			
f_A , кГц			
$K_{ук}$			

2.7.2. Настроить входную цепь на частоту $f_{0\ max}$ и определить резонансную частоту эквивалента антенны f_A . Для этого, увеличивая частоту входного сигнала выше значения $f_{0\ max}$, найти дополнительный максимум выходного напряжения макета. Следует иметь в виду, что уровень сигнала на частоте дополнительного максимума может быть значительно меньше уровня сигнала на частоте $f_{0\ max}$ основного максимума. Значение частоты f_A , соответствующее дополнительному максимуму, занести в таблицу 2.3.

2.7.3. Рассчитать коэффициент укорочения $K_{ук} = f_A/f_{0\ max}$ и найденное значение занести в таблицу 2.3.

2.8. Исследование входной цепи с трансформаторной связью с антенной в режиме удлинения

2.8.1. Установить переключатель П1 в положение “4” или “5” и измерить резонансный коэффициент передачи K_0 и полосу пропускания входной цепи при ее настройке на частоты $f_{0\ min}$, $f_{0\ ср}$ и $f_{0\ max}$ выполняя действия аналогичные п. 2.63...2.6.5, 2.6.9, 2.6.10. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 — Результаты измерения параметров входной цепи с трансформаторной связью с антенной в режиме удлинения

Параметр	Частота настройки входной цепи		
	$f_{0\ min} =$ кГц	$f_{0\ ср} =$ кГц	$f_{0\ max} =$ кГц
$U_{\text{вых } 0}, \text{ мВ}$			
K_0			
$f_A, \text{ кГц}$			
$K_{\text{уд}}$			

2.8.2. Настроить входную цепь на частоту $f_{0\ min}$ и определить резонансную частоту эквивалента антенны f_A . Для этого, устанавливая частоту входного сигнала меньше значения $f_{0\ min}$, необходимо найти дополнительный максимум выходного напряжения макета. Следует иметь в виду, что уровень сигнала на частоте дополнительного максимума может быть значительно меньше уровня сигнала на частоте $f_{0\ max}$ основного максимума. Значение частоты f_A , соответствующее этому максимуму занести в таблицу 2.4.

2.8.3. Рассчитать коэффициент удлинения входной цепи $K_{\text{уд}} = f_{0\ min} / f_A$ и найденное значение занести в таблицу 2.4.

2.9. Исследование входной цепи с комбинированной связью с антенной

Установить переключатель П1 в положение “6” и ” и измерить резонансный коэффициент передачи K_0 и полосу пропускания входной цепи при ее настройке на частоты $f_{0\ min}$, $f_{0\ ср}$ и $f_{0\ max}$, выполняя действия аналогичные п. 2.63...2.6.5, 2.6.9, 2.6.10. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 — Результаты измерения параметров входной цепи с комбинированной связью с антенной

Параметр	Частота настройки входной цепи		
	$f_{0\ min} =$ кГц	$f_{0\ ср} =$ кГц	$f_{0\ max} =$ кГц
$U_{\text{вых } 0}, \text{ мВ}$			
K_0			

2.10. Содержание отчета

2.10.1. Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в п. 1.

2.10.2. В отчете необходимо привести электрические схемы входных цепей

приемника с внешнеемкостной, трансформаторной и комбинированной связью с антенной.

2.10.3. Для каждой из исследованных входных цепей следует построить график зависимости $K_0(f_0)$ и пояснить его особенности. Для входной цепи с внешнеемкостной связью с антенной на графике зависимости $K_0(f_0)$ построить АЧХ цепи при ее настройке на частоты $f_{0\min}$, $f_{0\max}$. Для входных цепей с трансформаторной связью с антенной на оси частот графиков зависимости $K_0(f_0)$ отметить значения резонансной частоты антенной цепи f_A в режимах удлинения и укорочения.

2.10.4. В выводах необходимо для входной цепи с внешнеемкостной связью с антенной пояснить причины изменения полосы пропускания и добротности входной цепи в зависимости от частоты настройки, а также выполнить сравнительный анализ неравномерности частотных зависимостей $K_0(f_0)$, полученных при исследовании различных входных цепей.

2.11. Вопросы для самоконтроля

2.11.1. Назовите виды связи входной цепи с антенной и нарисуйте соответствующие им схемы входных цепей.

2.11.2. Назовите назначение и основные параметры входной цепи.

2.11.3. Какие побочные каналы приема подавляет входная цепь?

2.11.4. Как влияет входная цепь на избирательность приемника по соседнему каналу?

2.11.5. Проведите сравнительный анализ частотной избирательности входной цепи по прямому, зеркальному и соседнему каналам.

2.11.6. Нарисуйте амплитудно-частотную характеристику входной цепи с индуктивной связью, работающей в режиме укорочения, и поясните особенности этого режима?

2.11.7. Нарисуйте амплитудно-частотную характеристику входной цепи с индуктивной связью, работающей в режиме удлинения, и поясните особенности этого режима?

2.11.8. Какой вид входной цепи обеспечивает наименьшие изменения резонансного коэффициента передачи при перестройке цепи по диапазону и чем это обусловлено?

2.11.9. Почему в вещательных приемниках чаще всего используют одноконтурные входные цепи?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 “ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ”

3.1. Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование характеристик однокаскадного резонансного усилителя.

3.2. Краткие теоретические сведения

Резонансным называют усилитель, цепь нагрузки которого обладает резонансными свойствами, то есть на некоторой частоте имеет нулевую реактивную составляющую полного сопротивления или полной проводимости. В качестве такой нагрузки обычно используют параллельный колебательный LC -контур или несколько таких контуров, связанных между собой.

Основными параметрами резонансного усилителя являются: резонансный коэффициент усиления K_0 , полоса пропускания $\Pi_{0,7}$ на уровне 0,7, коэффициент прямоугольности АЧХ $K_{пр}$, частотная избирательность Se и коэффициент шума N .

В радиоприемниках резонансные усилители используют в составе преселектора в качестве усилителей радиочастоты (УРЧ), а также в тракте промежуточной частоты в качестве усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

УРЧ предназначен для усиления принимаемого сигналов непосредственно на частоте приема до уровня, превышающего шумы смесителя в заданное число раз, и подавления побочных каналов приема (зеркального, прямого и комбинационных).

УПЧ обеспечивает основное усиление принимаемого сигнала после преобразования его частоты, а также заданную частотную избирательность приемника по соседнему каналу.

3.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки изображена на рис. 3.1.

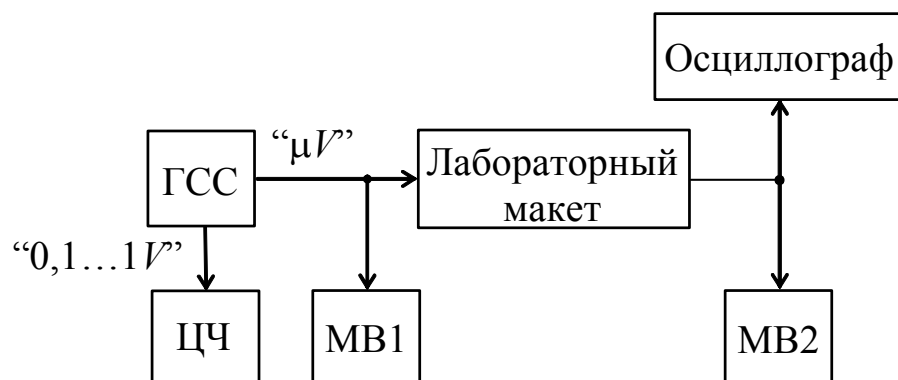


Рис. 3.1 — Структурная схема лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из лабораторного макета, генератора

стандартных сигналов ГСС, двух милливольтметров МВ1, МВ2 переменного напряжения, осциллографа и цифрового частотомера ЦЧ.

Электрическая схема лабораторного макета изображена на рис. 3.2. Лабораторный макет представляет собой транзисторный двухкаскадный резонансный усилитель, каждый каскад которого собран по схеме с общим эмиттером.

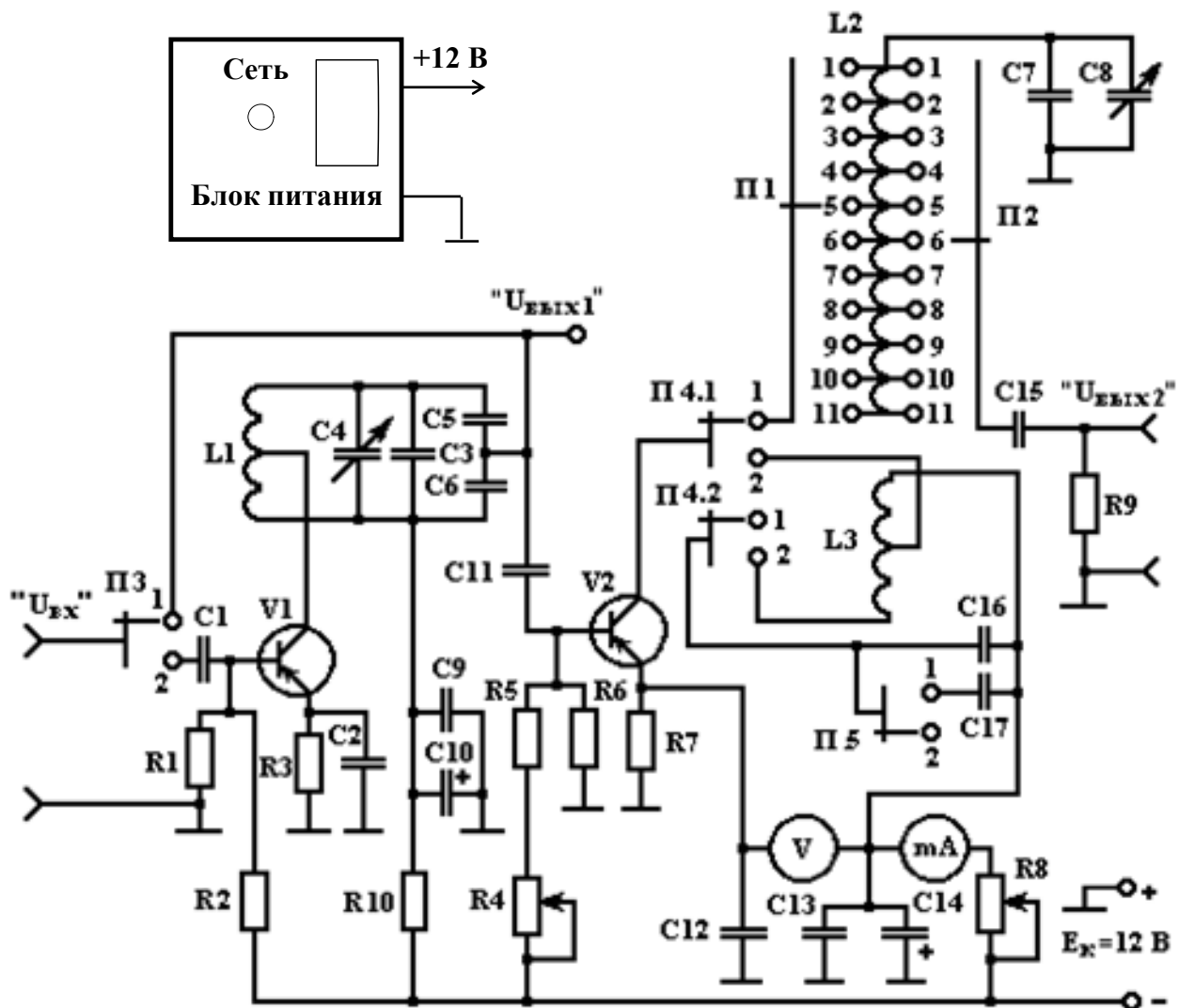


Рис. 3.2 — Электрическая схема лабораторного макета

В коллекторные цепи транзисторов $V1$, $V2$ включены параллельные колебательные контура $L1$, $C3$, $C4$, $C5$, $C6$ и $L2$, $C7$, $C8$ соответственно. Конденсаторы переменной емкости $C4$ и $C8$ позволяют настраивать каскады усилителя по заданную частоту независимо друг от друга. Выходной сигнал первого каскада снимается с емкостного делителя $C5$, $C6$. Колебательный контур второго каскада нагружен резистором $R9$. Переключатели $\Pi1$ и $\Pi2$ позволяют отдельно изменять коэффициенты включения m_1 и m_2 транзистора $V2$ и нагрузочного резистора $R9$ в колебательный LC -контур второго каскада. В таблице 3.1 приведены значения коэффициентов включения, соответствующие различным положениям переключателей $\Pi1$ и $\Pi2$.

Таблица 3.1 — Зависимость коэффициентов включения от положения

переключателей П1 и П2

Положение переключателей П1 и П2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Коэффициент включения	1	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,08	0,05	0,02	0

Если переключатель П3 установлен в положение “1”, то входной сигнал поступает на вход второго каскада усилителя, минуя первый каскад, что позволяет исследовать однокаскадный усилитель. Для исследования двухкаскадного усилителя переключатель П3 устанавливают в положение “2”.

Переключатель П4 позволяет изменять вид схемы второго усилительного каскада. Если переключатель П4 установлен в положение “1”, то получаем каскад с автотрансформаторной связью транзистора с колебательным контуром. Такой каскад далее по тексту называется автотрансформаторным усилительным каскадом. Если переключатель П4 установлен в положение “2”, то получаем каскад с трансформаторной связью транзистора с колебательным контуром, который далее называется трансформаторным усилительным каскадом. В последнем случае в коллекторную цепь транзистора $V2$ включается индуктивность связи $L3$, которая индуктивно связана с колебательным контуром $L2, C7, C8$. При этом индуктивность связи $L3$ и конденсатор $C16$ образуют дополнительный колебательный контур, резонансная частота $f_{св}$ которого меньше минимальной частоты $f_{0\ min}$ настройки основного контура. Такой режим работы трансформаторного усилительного каскада называется режимом удлинения по аналогии с аналогичным режимом работы входной цепи с трансформаторной связью с антенной (см. п. 2.2). Отношение резонансных частот $K_{уд} = f_{св} / f_{0\ min}$ называют коэффициентом удлинения, который можно изменять, подключая параллельно конденсатору $C16$ дополнительный конденсатор $C17$ с помощью переключателем П5.

Макет содержит встроенный блок питания. Потенциометр $R4$ позволяет изменять напряжение база-эмиттер транзистора $V2$, что вызывает изменения его коллекторного тока в пределах от 1 до 6 мА, а потенциометр $R8$ — напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ}$ транзистора $V2$ в пределах от 0 до 6 В. Поскольку указанные регулировки взаимосвязаны, то требуемый режим работы транзистора по постоянному току устанавливают путем последовательной регулировки величин I_k и $U_{кэ}$.

3.4. Задание на лабораторную работу

Необходимо исследовать характеристики автотрансформаторного и трансформаторного транзисторных усилительных каскадов. В режиме покоя постоянное напряжение коллектор-эмиттер должно составлять $U_{кэ} = 5$ В, а ток коллектора — $I_k = 2$ мА. При измерении частотной избирательности усилительного каскада по соседнему считать расстройку по соседнему каналу равной $\Delta f_{ск} = 10$ кГц. При измерении частотной избирательности по прямому и зер-

кальному каналам полагать промежуточную частоту равной $f_{пч} = 120$ кГц. При определении частоты зеркального канала считать, что гетеродин имеет верхнюю настройку.

3.5. Подготовка лабораторной установки к выполнению работы

3.5.1. Собрать лабораторную установку (см. рис. 3.1). К выходу “0,1 V” генератора сигналов подключить цифровой частотомер, а к выходу “ μV ” — вход макета “ $U_{вх}$ ” и первый милливольтметр. К выходу макета “ $U_{вых2}$ ” подключить второй милливольтметр.

3.5.2. Подключить измерительные приборы и лабораторный макет к сети, а затем включить их питание. С помощью тумблера “Сеть” включить блок питания, встроенный в лабораторный макет.

3.5.3. Установить с помощью потенциометров R_4 и R_k напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ} = 5$ В транзистора V_2 при токе коллектора $I_k = 2$ мА. При выполнении лабораторной работы необходимо поддерживать постоянство установленных значений $U_{кэ}$ и I_k .

3.6. Измерение амплитудной характеристики автотрансформаторного усилительного каскада

3.6.1. Установить переключатели ПЗ и П4 в положение “1”, переключатель П1 в положение “5”, а переключатель П2 в положение “8”. При этом входной сигнал проходит, на вход второго каскада усилителя, включенного по схеме с автотрансформаторным включением LC -контура.

3.6.2. Подать на вход усилителя немодулированное напряжением 5 мВ с частотой $f_0 = 500$ кГц, контролируя значение частоты по показаниям частотомера ЦЧ, а значение напряжения по показаниям милливольтметра МВ1 (см. рис. 3.1).

3.6.3. Настроить усилительный каскад на резонанс с помощью конденсатора С8, добиваясь максимума выходного напряжения $U_{вых 0}$ по показаниям милливольтметра МВ2.

3.6.4. Изменяя входное напряжение усилителя с помощью аттенюаторов, встроенных в генератор сигналов, в пределах от 5 до 100 мВ, измерить выходное напряжение $U_{вых 0}$ усилителя в 8...10 точках, занося результаты измерений в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 — Результаты измерения амплитудной характеристики усилительного каскада с автотрансформаторным включением LC -контура

$U_{вх}$, мВ										
$U_{вых 0}$, мВ										

3.7. Определение оптимального коэффициента включения нагрузки

в контур автотрансформаторного усилительного каскада

3.7.1. Подать на вход усилительного каскада немодулированное напряжение 5 мВ с частотой $f_0 = 500$ кГц.

3.7.2. Установить переключатель П1 в положение “10”, соответствующее коэффициенту включения $m_1 = 0,02$ транзистора $V2$ в колебательный контур $L2, C7, C8$.

3.7.3. Изменяя с помощью переключателя П2 коэффициент включения m_2 резистивной нагрузки $R9$ в контур $L2, C7, C8$, подобрать оптимальное значение $m_{2\text{ opt}}$, при котором выходное напряжение каскада достигает максимального значения. Поскольку изменение связи транзистора $V2$ и сопротивления $R9$ с колебательным контуром могут вызывать изменение его частоты настройки, необходимо после каждого изменения коэффициентов включения подстраивать контур в резонанс с помощью конденсатора переменной емкости $C8$. Найденные значения $m_{2\text{ opt}}$ и $U_{\text{вых } 0}$ занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 — Результаты измерения оптимальных коэффициентов включения нагрузки в контур автотрансформаторного усилительного каскада

m_1	0,02	0,05	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
$m_{2\text{ opt}}$									
$U_{\text{вых } 0}$, мВ									

3.7.4. Последовательно устанавливая с помощью переключателя П1 значения коэффициента включения m_1 от 0,05 до 1 в соответствии с таблицей 3.3, повторить измерения по п. 3.7.3 и найденные значения оптимального коэффициента включения $m_{2\text{ opt}}$ занести в таблицу 3.3.

3.8. Исследование зависимости параметров автотрансформаторного усилительного каскада от частоты настройки

3.8.1. Установить с помощью переключателей П1 и П2 коэффициент включения транзистора в контур $m_1 = 0,3$ и соответствующий ему оптимальный коэффициент включения нагрузки в контур $m_{2\text{ opt}}$, найденный ранее (см. таблица 3.3).

3.8.2. Подать на вход усилителя немодулированное напряжение 5 мВ с частотой $f_0 = 500$ кГц.

3.8.3. Вращая ручку, расположенную на передней панели лабораторного макета, установить ротор конденсатора $C8$ в положение, соответствующее настройке каскада на минимальную частоту $f_{0\text{ min}}$. Затем плавно перестраивая частоту генератора сигналов, добиться резонанса, при котором напряжение на ее выходе каскада достигает максимального значения $U_{\text{вых } 0}$. При перестройке

генератора следует поддерживать постоянство уровня входного напряжения макета, изменяя затухание плавного аттенюатора, встроенного в генератор. Найденные значения напряжения $U_{\text{вых } 0}$ и резонансной частоты $f_{0 \text{ min}}$ занести в таблицу 3.4.

3.8.4. Рассчитать резонансный коэффициент усиления $K_0 = U_{\text{вых } 0} / U_{\text{вх}}$ каскада и полученное значение занести в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 — Результаты измерения параметров автотрансформаторного усилительного каскада

Параметр	Резонансная частота настройки каскада		
	$f_{0 \text{ min}} =$ кГц	$f_{0 \text{ ср}} =$ кГц	$f_{0 \text{ max}} =$ кГц
$U_{\text{вых } 0}$, мВ			
K_0			
$U_{\text{вых ск}}$, мВ		—	—
$Se_{\text{ск}}$		—	—
$U_{\text{вых пр}}$, мВ		—	—
$Se_{\text{пр}}$, дБ		—	—
$U_{\text{вых зк}}$, мВ	—	—	
$Se_{\text{зк}}$, дБ	—	—	
γ			

Примечание. Значения, отмеченные в ячейках таблицы прочерком, не измеряются.

3.8.5. Настроить генератор сигналов на частоту соседнего канала $f_{\text{ск}} = f_{0 \text{ min}} + \Delta f_{\text{ск}}$, где $\Delta f_{\text{ск}} = 10$ кГц расстройка по соседнему каналу, измерить выходное напряжение каскада $U_{\text{вых ск}}$ и результат измерения занести в таблицу 3.4.

3.8.6. Настроить генератор сигналов на заданную промежуточную частоту $f_{\text{пр}} = 120$ кГц и измерить выходное напряжение каскада $U_{\text{вых пр}}$. Результат измерения занести в таблицу 3.5.

3.8.7. Установить ротор конденсатора переменной емкости C_8 приблизительно в среднем положении, которое соответствует настройке каскада на некоторую среднюю $f_{0 \text{ ср}}$ частоту, и повторить измерения и расчеты, аналогичные п.п. 3.8.3, 3.8.4. Найденные значения занести в таблицу 3.5.

3.8.8. Установить ротора конденсатора переменной емкости C_K в крайнее положение, соответствующее настройке каскада на максимальную частоту $f_{0 \text{ max}}$, и повторить измерения и расчеты, аналогичные п.п. 3.8.3, 3.8.4. Най-

денные значения занести в таблицу 3.5.

3.8.9. С учетом выбранного в п. 3.6.3.6. значения промежуточной частоты рассчитать максимальную частоту зеркального канала по формуле

$$f_{зк\max} = f_{0\max} + 2f_{пр}$$

и полученное значение частоты занести таблицу 3.5.

3.8.10. Настроить генератор сигналов на частоту зеркального канала $f_{зк\max}$ и измерить выходное напряжение макета $U_{\text{вых зк}}$. Результат измерения занести в таблицу 3.5.

3.8.11. Используя формулу (2.2) рассчитать частную избирательность по соседнему $Se_{ск} = 20\lg(U_{\text{вых ск}}/U_{\text{вых0}})$, прямому $Se_{пр} = 20\lg(U_{\text{вых пр}}/U_{\text{вых0}})$ и зеркальному $Se_{зр} = 20\lg(U_{\text{вых зр}}/U_{\text{вых0}})$ каналам и найденные значения занести в таблицу 3.5.

3.8.12. Рассчитать коэффициент неравномерности усиления каскада в диапазоне настройки

$$\gamma = \frac{K_{0\max} - K_{0\min}}{K_{0\max} + K_{0\min}},$$

где $K_{0\max}$ и $K_{0\min}$ — максимальное и минимальное значения резонансного коэффициента усиления каскада.

Полученный результат занести в таблицу 3.4.

3.9. Исследование трансформаторного усилительного каскада

3.9.1. Установить переключатели П4 и П5 в положение “2”. При этом усилительный каскад будет включен по трансформаторной схеме в режиме с малым удлинением.

3.9.2. Выполнить измерения и расчеты в соответствии с п.п. 3.8.3, 3.8.4, 3.8.12. Полученные результаты занести в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 — Результаты измерения параметров трансформаторного усилительного каскада с трансформаторным включением LC-контура

Параметр	Резонансная частота настройки каскада		
	$f_{0\min} =$ кГц	$f_{0\text{ ср}} =$ кГц	$f_{0\max} =$ кГц
$U_{\text{вых 0}}, \text{ мВ}$			
K_0			
γ			

3.9.3. Установить переключатели П5 в положение “1”, при котором усили-

тельный каскад включен по трансформаторной схеме в режиме с большим удлинением.

3.9.4. Выполнить измерения и расчеты в соответствии с п.п. 3.8.3, 3.8.4, 3.8.12. Полученные результаты занести в таблицу 3.5.

3.10. Содержание отчёта

3.10.1. Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в п. 1.

3.10.2. В отчете необходимо привести электрические схемы автотрансформаторного и трансформаторного каскадов резонансного усилителя.

3.10.3. Для автотрансформаторного резонансного усилителя следует построить графики зависимостей: $U_{\text{вых}0}(U_{\text{вх}})$, $K_0(m_1)$, $K_0(m_2)$, $m_{2\text{opt}}(m_1)$, $K_0(f_0)$ и пояснить их особенности.

3.10.4. Для трансформаторного резонансного усилителя следует построить графики зависимости $K_0(f_0)$ для двух режимов удлинения.

3.10.5. В выводах необходимо пояснить особенности полученных зависимостей, охарактеризовать частотную избирательность автотрансформаторного резонансного усилителя по зеркальному и прямому каналам и проанализировать неравномерность частотных зависимостей $K_0(f_0)$.

3.11. Вопросы для самоконтроля

3.11.1. Назовите основные характеристики резонансного усилителя.

3.11.2. В каких блоках супергетеродинного приемника и с какой целью используют резонансные усилители?

3.11.3. Нарисуйте электрические схемы автотрансформаторного и трансформаторного каскадов резонансного усилителя и поясните назначение элементов этих схем.

3.11.4. Почему в резонансных усилителях в качестве нагрузки используют параллельные LC -контура?

3.11.5. Что называется амплитудной характеристикой резонансного усилителя?

3.11.6. Как изменяется режим работы резонансного усилителя при увеличении амплитуды входного сигнала, и к какому виду искажений сигнала это приводит?

3.11.7. Как изменяются добротность и частотная избирательность каскада резонансного усилителя при различных значениях коэффициентов включения транзистора и сопротивления нагрузки в LC -контур?

3.11.8. Поясните, какие элементы схемы резонансного усилителя вызывают линейные искажения усиливаемого сигнала, а какие — нелинейные.

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 “ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ”

4.1. Цель работы

Целью работы является изучение принципа построения и режимов работы балансного транзисторного преобразователя частоты.

4.2. Краткие теоретические сведения

Преобразованием частоты называется операция сдвига спектра модулированного радиосигнала по оси частот без изменения формы спектра и вида модуляции преобразуемого сигнала.

В супергетеродинном приемнике преобразование частоты реализуется путем умножения принимаемого сигнала

$$u_c(t) = U_{mc} \cos(\omega_c t + \varphi_c), \quad (4.1)$$

где U_{mc} , ω_c , φ_c — амплитуда, частота и начальная фаза сигнала, которые могут быть промодулированы передаваемым сообщением, на вспомогательный немодулированный гармонический сигнал

$$u_\Gamma(t) = U_{m\Gamma} \cos(\omega_\Gamma t + \varphi_\Gamma), \quad (4.2)$$

где $U_{m\Gamma}$, ω_Γ , φ_Γ — амплитуда, частота и начальная фаза вспомогательного сигнала.

Используя известные тригонометрические соотношения, произведение сигналов (4.1) и (4.2) можно представить в виде

$$\begin{aligned} u_c(t)u_\Gamma(t) = & 0,5U_{mc}U_{m\Gamma}\cos[(\omega_\Gamma - \omega_c)t + \varphi_\Gamma - \varphi_c] + \\ & + 0,5U_{mc}U_{m\Gamma}\cos[(\omega_\Gamma + \omega_c)t + \varphi_\Gamma + \varphi_c]. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Для последующей обработки обычно используют составляющую произведения (4.3) с разностной частотой $\omega_{пр} = \omega_\Gamma - \omega_c$, которую называют промежуточной.

На рис. 4.1 изображена типовая структурная схема преселектора и преобразователя частоты супергетеродинного приемника. Сигнал (4.1), наведенный в антенне принимаемым электромагнитным полем, поступает через преселектор на преобразователь частоты ПЧ, который состоит из смесителя См и гетеродина Г. Гетеродин представляет собой маломощный генератор гармонического сигнала (4.2). Смеситель реализует операцию перемножения (4.3). Полосно-пропускающий фильтр ПФ выделяет из выходного сигнала смесителя составляющую промежуточной частоты.

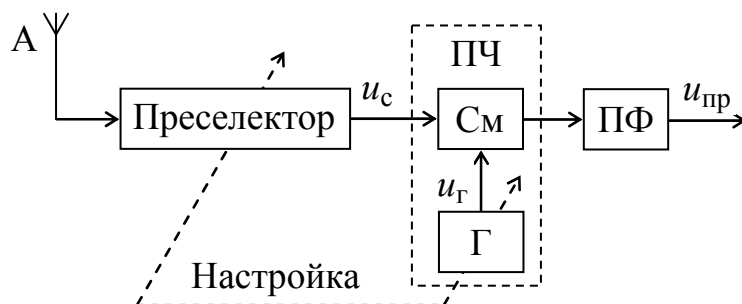


Рис. 4.1 — Структурная схема преселектора и преобразователя частоты

Коэффициентом передачи преобразователя частоты определяется по формуле

$$K_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{U_c}, \quad (4.4)$$

где $U_{\text{пр}}$ — действующее значение сигнала промежуточной частоты $\omega_{\text{пр}}$ на выходе смесителя; U_c — действующее значение сигнала, преобразуемого по частоте.

С учетом (4.3) выходной сигнал преобразователя частоты можно записать в виде

$$u_{\text{пр}}(t) = K_{\text{пр}} U_{mc} \cos[\omega_{\text{пр}} t + \varphi_{\Gamma} - \varphi_c(t)].$$

Настройка супергетеродинного приемника по частоте осуществляется путем одновременной перестройки преселектора и гетеродина таким образом, чтобы промежуточная частота оставалась приблизительно постоянной величиной $\omega_{\text{пр}} \approx \text{const}$. Постоянство промежуточной частоты позволяет осуществлять основное усиление сигнала с помощью устойчивого усилителя промежуточной частоты (УПЧ) с большим коэффициентом усиления и высокой частотной избирательностью по соседнему каналу. Устойчивость УПЧ обеспечивается за счет выбора достаточно низкой промежуточной частоты, что существенно уменьшает влияние паразитных параметров элементов УПЧ на его характеристики, а высокая частотная избирательность — за счет использования в УПЧ непереключаемых высокочастотных пьезоэлектрических и электромеханических фильтров сосредоточенной избирательности (ФСИ).

Поскольку перемножение сигналов является нелинейной операцией, то в качестве смесителя обычно используются нелинейные элементы (диоды, транзисторы, электронные лампы и т.п.). На рис. 4.2 изображена типовая проходная вольтамперная характеристика биполярного транзистора, которая представляет собой зависимость коллекторного тока i_k транзистора от напряжения база-эмиттер $u_{\text{бэ}}$. При коллекторном токе много больше обратного тока pn -перехода база-эмиттер $i_k \gg I_s$ данная зависимость определяется следующим выражением:

$$i_K = I_S e^{\frac{u_{бэ}}{\Phi_T}}, \quad (4.5)$$

где $\Phi_T \approx 25 \text{ мВ}$ — тепловой потенциал при комнатной температуре $T = 293 \text{ К}$.

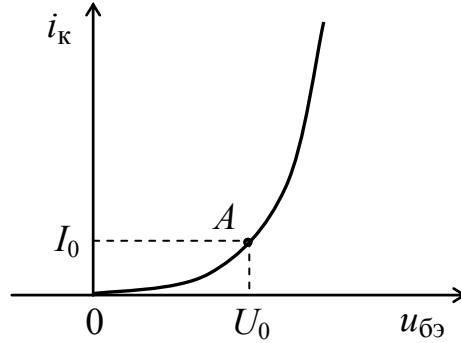


Рис. 4.2 — Проходная вольтамперная характеристика биполярного транзистора

Скорость изменения коллекторного тока в зависимости от напряжения база-эмиттер характеризуется крутизной вольтамперная характеристика $S = \partial i_K / \partial u_{бэ}$, которую с учетом (4.5) можно рассчитать по приближенной формуле

$$S \approx \frac{i_K}{\Phi_T}.$$

В окрестности рабочей точки $A(U_0, I_0)$ (см. рис. 4.2) вольтамперная характеристика биполярного транзистора может быть аппроксимирована степенным рядом

$$i_K = I_0 + a_1(u_{бэ} - U_0) + a_2(u_{бэ} - U_0)^2 + \dots + a_n(u_{бэ} - U_0)^n + \dots, \quad (4.6)$$

где I_0 , U_0 — коллекторный ток и напряжение база-эмиттер, соответствующие режиму работы транзистора по постоянному току;

$$a_n = \frac{1}{n!} \frac{\partial^n i_K}{\partial u_{бэ}^n}$$

— n -ый коэффициент разложения.

Из (4.6) следует, что при воздействии на pn -переход база-эмиттер суммы напряжений $u_{бэ}(t) = U_0 + u_c(t) + u_r(t)$ коллекторный ток будет содержать гармоники сигнала (4.1) с частотами $m\omega_c$, гармоники гетеродина (4.2) с частотами $n\omega_r$, а также составляющие с комбинационными частотами $\omega_K = |n\omega_r \pm m\omega_c|$,

где $n=0, 1, 2, \dots$ и $m=0, 1, 2, \dots$ — целые числа.

На входе смесителя амплитуда сигнала гетеродина, как правило, составляет десятки или сотни милливольт, в то время как амплитуда принимаемого сигнала не превышает один милливольт. Поэтому нелинейность транзистора проявляется в основном под действием сигнала гетеродина и практически пренебрежительно мала в результате действия принимаемого сигнала. При выполнении указанных условий смеситель обычно считают линейным по отношению к преобразуемому сигналу и его спектру.

Активными смесителями на одном транзисторе (биполярном или полевом) свойственны недостатки однодиодных смесителей (большое число неиспользуемых комбинационных составляющих, а также взаимное проникновения преобразуемого сигнала и сигнала гетеродина в смежные с ними цепи). Следующим шагом в направлении улучшения параметров активных смесителей было использование полевых транзисторов с двумя изолированными затворами. В настоящее время наиболее широкое применение находят балансные транзисторные смесители, выполненные в виде интегральных микросхем и позволяющие минимизировать как число комбинационных составляющих на выходе смесителя, так и взаимное проникновение сигналов.

4.3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (см. рис. 4.3) содержит: лабораторный макет; генератор стандартных сигналов ГСС (Г4-18); два милливольтметра МВ1, МВ2 (В3-38) переменного напряжения типа и цифровой частотомер ЦЧ (Ч3-34).

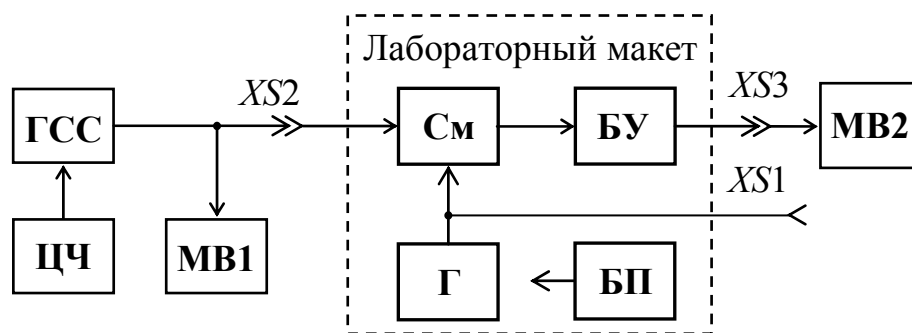


Рис. 4.3 — Структурная схема лабораторной установки

Лабораторный макет состоит из гетеродина Г, смесителя См, буферного усилителя БУ и встроенного блока питания БП.

Электрическая схема лабораторного макета изображена на рис. 4.4. Автогенератор собран по схеме емкостной трехточки на полевом n -канальном транзисторе $VT1$, включенном по схеме с общим стоком, которая имеет коэффициент передачи, равный $K_{\Pi} \approx 0,8 \dots 0,9$ и называется истоковым повторителем. Исток транзистора $VT1$ подключен через конденсатор $C9$ к узлу соединения варикапов, образуя цепь обратной связи.

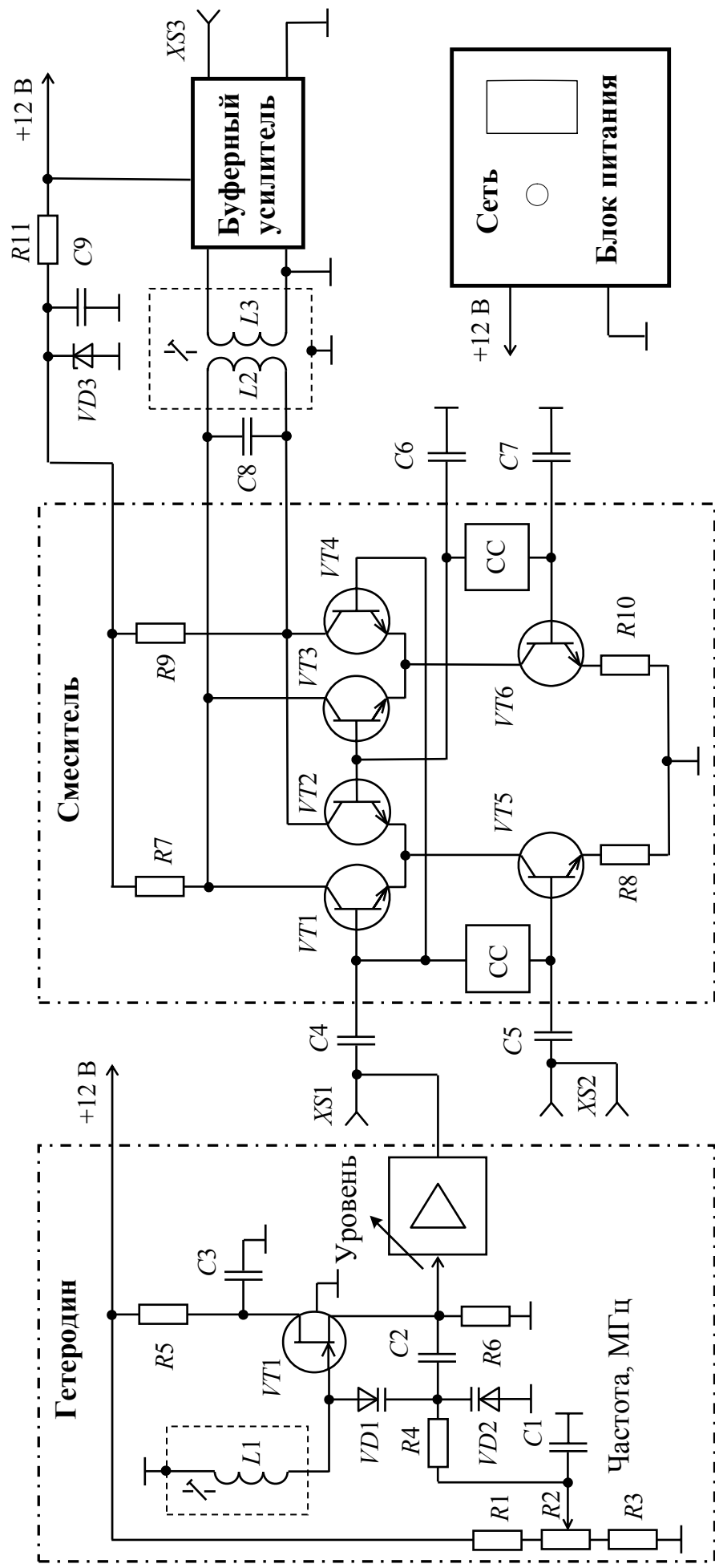


Рис. 4.4 — Электрическая схема макета преобразователя частоты

Так как напряжение на истоке транзистора $VT1$ совпадает по фазе с напряжением на его затворе, то указанная обратная связь на резонансной частоте LC -контура является положительной, что обеспечивает в автогенераторе выполнение условия баланса фаз. Поскольку в схеме используются однотипные варикапы, то их емкости приблизительно одинаковы. Поэтому коэффициент включения конденсатора $C9$ к колебательному LC -контур у равен $m = 0,5$. В результате, цепь положительной обратной связи имеет коэффициент передачи равный $K_{oc} = 1/m = 2$. Тогда коэффициент передачи разомкнутой цепи обратной связи автогенератора будет удовлетворять условию $K_p = K_{oc}K_n \approx 2 \cdot 0,8 = 1,6 > 1$, что обеспечивает выполнение условия баланса амплитуд. В результате, автогенератор самовозбуждается на частоте, близкой к резонансной частоте параллельного контура $L1$, $VD1$, $VD2$. Перестройка гетеродина по частоте осуществляется путем изменения емкости варикапов $VD1$, $VD2$ под действием управляющего напряжения, снимаемого с движка потенциометра $R2$.

Сигнал автогенератора снимается с истока транзистора $VT1$ и подается на регулятор уровня, который позволяет изменять уровень выходного напряжения гетеродина, а также уменьшить влияние смесителя и измерительных приборов, подключаемых к макету, на автогенератор.

Смеситель выполнен на интегральной микросхеме $SA612$, которая на рис. 4.4 выделена штрихпунктирной линией. Смеситель нагружен на колебательный контур $L2$, $C8$, который связан трансформаторной связью с буферным каскадом, представляющим собой широкополосный усилительный каскад.

Встроенный блок питания преобразует напряжение промышленной сети 220 В, 50 Гц в постоянное стабилизированное напряжение 12 В.

Конструктивно лабораторный макет выполнен в стальном корпусе, на лицевой панели которого расположены органы управления макетом, а также однополюсные розетки для подключения измерительных приборов.

Микросхема $SA612$ представляет собой двойной балансный смеситель и обеспечивает коэффициент преобразования не менее 14 дБ на частотах от 0 до 45 МГц. На рис. 4.4 изображена принципиальная электрическая схема только основной части смесителя, выполненной на транзисторах $VT1...VT6$. Схемы смещения CC , обеспечивающие режим работы микросхемы по постоянному току, показаны на рис. 4.4 в виде структурных элементов.

Балансный режим работы смесителя по гетеродинному входу $XS1$ обеспечивается за счет перекрестных связей между коллекторами дифференциальных каскадов $VT1$, $VT2$ и $VT3$, $VT4$, а по сигнальному входу $XS2$ — за счет дифференциального каскада $VT5$, $VT6$. Транзисторы $VT5$, $VT6$ являются источниками тока для дифференциальных каскадов $VT1$, $VT2$, и $VT3$, $VT4$ соответственно. Балансный режим работы обеспечивает подавление на выходе смесителя как сигнала гетеродина, так и преобразуемого по частоте сигнала. В результате, такой смеситель подавляет прямой канал (сигнал промежуточной частоты) не менее чем на 40 дБ.

Выходное напряжение смесителя определяется по формуле

$$u_{\text{вых}}(t) = \frac{R_H I_0}{2} \operatorname{th} \frac{u_{\Gamma}(t)}{2\varphi_T} \operatorname{th} \frac{u_c(t)}{2\varphi_T}, \quad (4.7)$$

где $R_H = R_7 = R_9$ — сопротивление нагрузки в коллекторных цепях транзисторов $VT1, \dots, VT4$; I_0 — постоянный ток транзисторов $VT5, VT6$; $\varphi_T \approx 26$ мВ — тепловой потенциал при температуре $T = 300$ К.

При выполнении условий:

$$\begin{aligned} U_{mc} &< 10 \text{ мВ}; \\ U_{m\Gamma} &> 4\varphi_T \approx 100 \text{ мВ}, \end{aligned}$$

амплитуда выходного напряжения (4.7) преобразователя частоты изменяется пропорционально амплитуде напряжения преобразуемого сигнала и практически не зависит от амплитуды напряжения гетеродина. При этом смеситель работает в ключевом режиме.

На рис. 4.5 изображена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) балансного преобразователя частоты в случае верхней настройки гетеродина ($f_{\Gamma} = f_c + f_{\text{пр}} > f_c$).

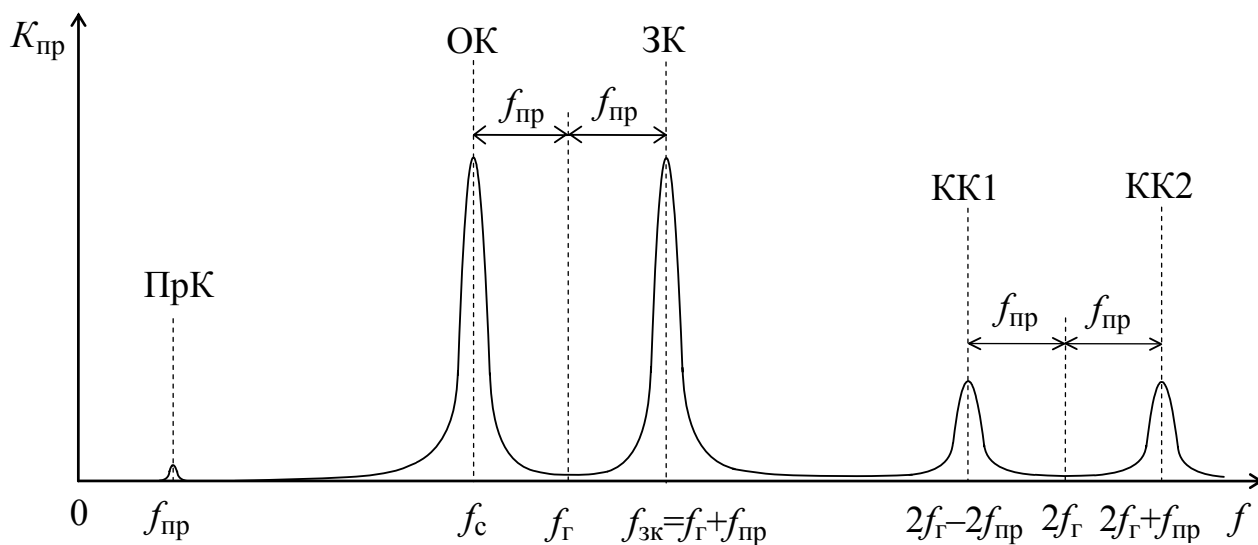


Рис. 4.5 — АЧХ балансного преобразователя частоты

На рис. 4.5 использованы следующие сокращенные обозначения: ПрК — прямой канал; ОК — основной канал; ЗК — зеркальный канал; КК1, КК2 — комбинационные каналы в окрестности второй гармоники гетеродина.

Форма гребней АЧХ преобразователя частоты совпадает с формой АЧХ колебательного контура $L2, C8$, зашунтированного по переменному току последовательно включенными сопротивлениями R_7 и R_9 (см. рис. 4.4).

4.4. Задание на лабораторную работу

Измерить амплитудную и амплитудно-частотные характеристики преобразователя частоты.

4.5. Подготовка лабораторной установки к работе

4.5.1. Собрать лабораторную установку (см. рис. 4.3). Подключить выход “ μV ” генератора Г4-18 к входу $XS2$ лабораторного макета (сигнальный вход смесителя), а выход “0,1-1 V ” генератора Г4-18 — к входу “А” цифрового частотомера ЧЗ-34. Подключить первый милливольтметр ВЗ-38 к гнезду $XS1$ лабораторного макета (выход гетеродина), а второй милливольтметр к гнезду $XS3$ лабораторного макета (выходу буферного усилителя).

4.5.2. Установить органы управления генератора Г4-18 в следующие положения:

— переключатель рода работы — в положение “внеш. мод.” (внешняя модуляция);

— переключатель частотных диапазонов — в положение, соответствующее частотному диапазону “1,0 — 3,0 МГц”;

— тумблер “Уровень К — М%” — в положение “Уровень К”.

4.5.3. Включить приборы, входящие в состав лабораторной установки, а затем включить блок питания лабораторного макета.

4.5.4. Установить органы управления лабораторного макета в следующие положения:

— регулировку “Частота” гетеродина — в положение, соответствующее частоте 1,5 МГц;

— регулировку “Уровень” — в положение, при котором выходного напряжения гетеродина (гнездо $XS1$) будет равно 50 мВ.

4.6. Измерение параметров преобразователя частоты

4.6.1. Отключить милливольтметр от гнезда $XS1$ и подключить к гнезду $XS2$ для контроля выходного напряжения генератора Г4-18.

4.6.2. Установить выходное напряжение генератора Г4-18 равным $U_c = 10$ мВ по показаниям милливольтметра.

4.6.3. С помощью ручки грубой перестройки частоты настроить генератор Г4-18 на частоту, близкую к частоте основного канала $f_c = f_r - f_{пр} = 1500 - 465 = 1035$ кГц (см. рис. 4.5), при которой на выходе макета (гнездо $XS3$) появляется напряжение $U_{вых}$. Затем с помощью ручки плавной перестройки частоты настроить генератор стандартных сигналов на частоту, при которой это напряжение достигает максимального значения.

4.6.4. Определить по показаниям цифрового частотомера — частоту выходного сигнала генератора Г4-18 и записать ее в протокол.

4.6.5. Регулируя выходное напряжение гетеродина, установить выходное напряжение макета равным $U_{вых} = 100$ мВ. Перестраивая генератор Г4-18 по частоте, определить по показаниям частотомера значения частот $f_1 < f_c$ и $f_2 > f_c$, на которых выходное напряжение макета уменьшается до уровня

$U_{\text{вых}} \approx 70$ мВ, т.е. приблизительно в $\sqrt{2}$ раз. Найденные значения частоты занести в протокол.

4.6.6. Рассчитать ширину полосы пропускания на уровне 0,7 колебательно-го LC -контура, являющегося нагрузкой смесителя, $\Pi_{0,7} = f_2 - f_1$, а также его добротность $Q = f_{\text{пр}} / \Pi_{0,7}$. Найденные значения параметров преобразователя частоты занести в протокол.

4.6.4. Полагая промежуточную частоту равной $f_{\text{пр}} = 465$ кГц, рассчитать точное значение частоты гетеродина, а также частоты зеркального и четырех комбинационных каналов по следующим формулам:

$$\begin{aligned} f_{\Gamma} &= f_{\text{с}} + f_{\text{пр}}; \\ f_{\text{зк}} &= f_{\text{с}} + 2f_{\text{пр}}; \\ f_{\text{кк1}} &= 2f_{\Gamma} - f_{\text{пр}}; \\ f_{\text{кк2}} &= 2f_{\Gamma} + f_{\text{пр}}; \\ f_{\text{кк3}} &= 3f_{\Gamma} - f_{\text{пр}}; \\ f_{\text{кк4}} &= 3f_{\Gamma} + f_{\text{пр}}. \end{aligned}$$

Полученные значения частот занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 — Результаты измерения максимумов АЧХ преобразователя частоты

U_{Γ} , мВ	Измеряемый параметр	Значение частоты, кГц:						
		$f_{\text{пр}}$	$f_{\text{с}}$	$f_{\text{зк}}$	$f_{\text{кк1}}$	$f_{\text{кк2}}$	$f_{\text{кк3}}$	$f_{\text{кк4}}$
50	$U_{\text{вых}}$, мВ							
	$K_{\text{пр}}$							

4.7. Измерение максимумов АЧХ преобразователя частоты

4.7.1. Последовательно настраивая генератор Г4-18 на частоты $f_{\text{пр}}$, $f_{\text{ок}}$, $f_{\text{зк}}$, $f_{\text{кк1}}$, $f_{\text{кк2}}$, $f_{\text{кк3}}$, $f_{\text{кк4}}$, соответствующие максимумам АЧХ (см. рис. 4.5), измерить выходное напряжение макета (гнездо XS3). После каждой установки частоты генератора Г4-18 необходимо плавно ее подстроить, добиваясь максимума напряжения $U_{\text{вых}}$ на выходе макета (гнездо XS3). Полученные значения напряжений занести в таблицу 4.1.

4.7.2. На каждой из частот, указанных в таблице 4.1, рассчитать коэффициент передачи преобразователя частоты $K_{\text{пр}}$ по формуле (4.4), а результаты расчета занести в таблицу 4.1.

4.8. Измерение амплитудной характеристики преобразователя частоты при постоянном напряжении гетеродина

4.8.1. Настроить генератор Г4-18 на частоту основного канала (см. п. 4.6.3, 3.6.4) и, изменяя его выходное напряжение U_c от 10 до 200 мВ, измерить напряжение $U_{\text{вых}}$ на выходе макета (гнездо XS3). Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 — Результаты измерения амплитудной характеристики преобразователя частоты при постоянном напряжении гетеродина

U_c , мВ	10	20	30	40	60	80	100	120	160	200
$U_{\text{вых}}$, мВ										
$K_{\text{пр}}$										

4.8.3. Для каждого значения напряжения U_c рассчитать коэффициент передачи $K_{\text{пр}}$ преобразователя частоты по формуле (4.4) и полученные значения занести в таблицу 4.2.

4.9. Измерение амплитудной характеристики преобразователя частоты при постоянном напряжении сигнала

4.9.1. Не изменяя частоту и уровень напряжения гетеродина, установить на выходе генератора Г4-18 напряжение $U_c = 10$ мВ с частотой основного канала f_c (см. п. 4.6.4).

4.9.2. Плавно перестраивая частоту генератора Г-18, добиться максимума напряжения $U_{\text{вых}}$ на выходе макета (гнездо XS3).

4.9.3. Изменяя напряжение гетеродина $U_{\text{Г}}$ от 10 до 300 мВ, измерить напряжение $U_{\text{вых}}$. Результаты измерений занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 — Результаты измерения амплитудной характеристики преобразователя частоты при постоянном напряжении гетеродина

$U_{\text{Г}}$, мВ	10	20	40	60	80	100	120	160	200	300
$U_{\text{вых}}$, мВ										
$K_{\text{пр}}$										

4.9.4. Для каждого значения напряжения $U_{\text{Г}}$ рассчитать коэффициент передачи $K_{\text{пр}}$ преобразователя частоты по формуле (4.4) и полученные значения занести в таблицу 4.3.

4.10. Содержание отчета

4.10.1. Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в п. 1.

4.10.2. В отчете необходимо привести структурную схему лабораторной установки.

4.10.3. Необходимо построить амплитудно-частотные и амплитудные характеристики преобразователя частоты. При построении АЧХ преобразователя частоты необходимо учесть, что все ее горбы имеют одну и ту же ширину на уровне 0,7 относительно максимума горба, которая равна значению $P_{0,7}$, найденную при выполнении п.п. 4.6.5, 4.6.6.

4.10.4. В выводах следует охарактеризовать особенности амплитудно-частотной и амплитудных характеристик преобразователя частоты.

4.11. Вопросы для самоконтроля

4.11.1. Дайте определение операции преобразования частоты.

4.11.2. Поясните принцип действия балансного транзисторного смесителя и охарактеризуйте его достоинства.

4.11.3. Назовите побочные каналы приема супергетеродинного приемника и поясните, какие блоки приемника обеспечивают их подавление.

4.11.4. На каких гармониках гетеродина может быть выполнено преобразование частоты?

4.11.5. Перечислите основные параметры смесителя.

4.11.6. Нарисуйте АЧХ преобразователя частоты и поясните, почему она имеет гребенчатый вид.

4.11.7. Назовите источники шумов преобразователя частоты.

4.11.8. Поясните, чем отличается верхняя настройка гетеродина от нижней и каковы достоинства и недостатки каждой из настроек.

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 “ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА”

5.1. Цель работы

Целью работы является экспериментальное исследование основных характеристик диодного амплитудного детектора.

5.2. Краткие теоретические сведения

Амплитудным детектором называют устройство, которое преобразует высокочастотный амплитудно-модулированный (АМ) радиосигнал в низкочастотный сигнал, повторяющий по форме огибающую АМ сигнала, то есть закон модуляции.

Операция детектирования является нелинейным преобразованием сигнала и может быть реализована с помощью нелинейных цепей, построенных на основе полупроводниковых диодов и транзисторов. Поскольку напряжение отпирания маломощных германиевых диодов составляет $0,1 \dots 0,2$ В, а кремниевых — $0,5 \dots 0,7$ В, то в радиоприемниках часто применяют амплитудные детекторы на германиевых диодах. При прочих равных условиях это позволяет повысить чувствительность приемника или уменьшить коэффициент усиления линейного тракта приемника.

Поскольку в супергетеродинных радиоприемниках амплитудный детектор включают на выходе усилителя промежуточной частоты, то несущая частота детектируемого АМ сигнала обычно равна промежуточной частоте приемника $\omega_0 = \omega_{\text{пр}}$.

Наиболее простым являются последовательный амплитудный детектор на полупроводниковом диоде, электрическая схема которого изображена на рис. 5.1.

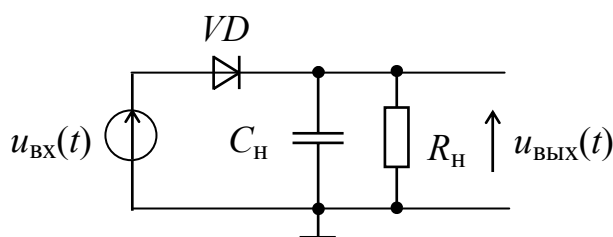


Рис. 5.1 — Электрическая схема диодного амплитудного детектора

При действии на входе детектора немодулированного радиосигнала, амплитуда U_m которого превышает напряжение отпирания диода,

$$u_{\text{вх}}(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (5.1)$$

где, ω_0 , φ_0 — амплитуда, частота и начальная фаза детектируемого сигнала, временные диаграммы входного и выходного напряжений детектора изображены на рис. 5.2.

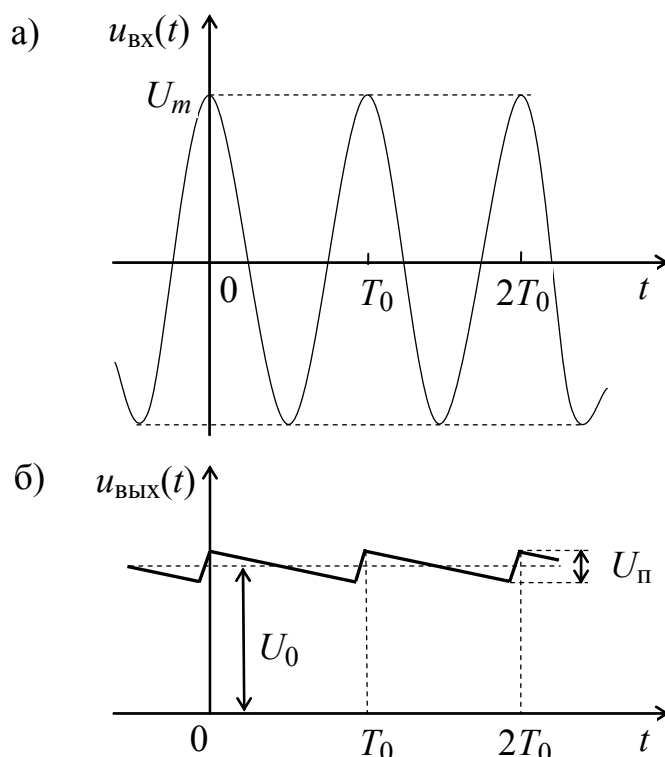


Рис. 5.2 — Временные диаграммы входного и выходного напряжения детектора при детектировании немодулированного радиосигнала

На диаграмме видны пульсации выходного напряжения детектора с амплитудой $U_{\text{П}}$ относительно среднего значения U_0 (постоянной составляющей). Период повторения пульсаций $T_0 = 1/2f_0$ совпадает с периодом повторения детектируемого сигнала (5.1).

Наиболее простым АМ радиосигналом является сигнал, амплитуда которого изменяется по гармоническому закону

$$u(t) = U_m(1 + m \cos \Omega t) \cos(\omega_0 t + \theta_0), \quad (5.4)$$

где m — коэффициент модуляции, равный отношению амплитуды огибающей к средней амплитуде сигнала; $\Omega = 2\pi/T$ — частота модулирующего сигнала (частота огибающей).

Временные диаграммы входного и выходного напряжений детектора при детектировании модулированного радиосигнала показаны на рис. 5.3.

Чтобы достаточно точного воспроизведения выходным сигналом детектора огибающей детектируемого сигнала промежуточную частоту приемника выбирают из условия

$$f_{\text{пр}} \geq (40 \dots 50) F_{\text{max}}, \quad (5.5)$$

где F_{max} — максимальная частота в спектре модулирующего сигнала.

Например, промежуточная частота радиовещательных приемников АМ сигналов, работающих в диапазоне частот от 300 кГц до 30 МГц, выбирается

равной $f_{\text{пр}} = 465 \pm 2$ кГц. При этом максимальная частота в спектре модулирующего сигнала не превышает $F_{\text{max}} = 5$ кГц.

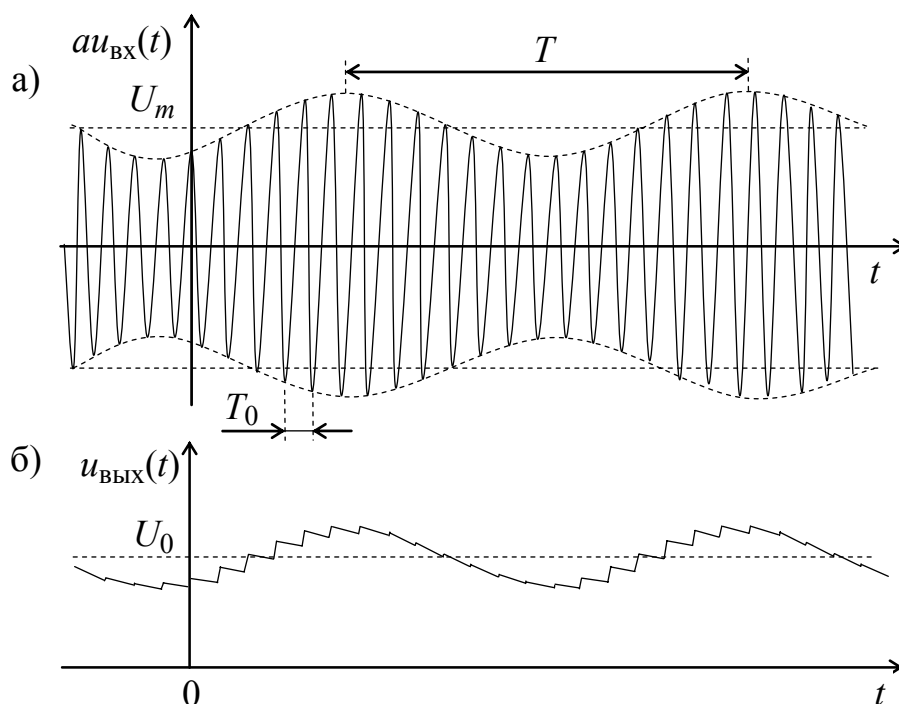


Рис. 5.3 — Временные диаграммы входного (а) и выходного (б) сигналов детектора при детектировании модулированного радиосигнала

При этом минимальный период огибающей приблизительно в $f_{\text{пр}}/F_{\text{max}} = 93$ раза превышает период сигнала промежуточной частоты. В этом отношении временная диаграмма, показанная на рис. 5.3, носит качественный характер и не отражает реального соотношения (5.5) частот огибающей и несущей. Детекторной характеристикой амплитудного детектора называется зависимость постоянной составляющей U_0 выходного напряжения детектора от амплитуды детектируемого сигнала.

Коэффициентом передачи амплитудного детектора при детектировании немодулированного сигнала (5.1) называется отношение вида

$$K_{\text{д0}} = \frac{U_0}{U_m}. \quad (5.2)$$

Качество фильтрации несущей на выходе амплитудного детектора оценивают коэффициентом фильтрации $K_{\text{ф}}$, который показывает, во сколько раз амплитуда пульсаций $U_{\text{п}}$ на выходе амплитудного детектора (см. рис. 5.2) меньше амплитуды U_m детектируемого сигнала:

$$K_{\Phi} = \frac{U_m}{U_{\Pi}} = \frac{U\sqrt{2}}{U_{\Pi}}, \quad (5.3)$$

где $U = U_m / \sqrt{2}$ — действующее значение детектируемого сигнала.

На рис. 5.4 изображена вольтамперная характеристика (ВАХ) диода. При работе детектора на нелинейном участке AB выходной сигнал детектора изменяется непропорционально амплитуде детектируемого сигнала. Если рабочий участок ВАХ достаточно точно аппроксимируется параболой, то режим детектирования называется квадратичным. Такой режим детектирования используется в измерителях мощности сигнала, поскольку она пропорциональна квадрату амплитуды сигнала.

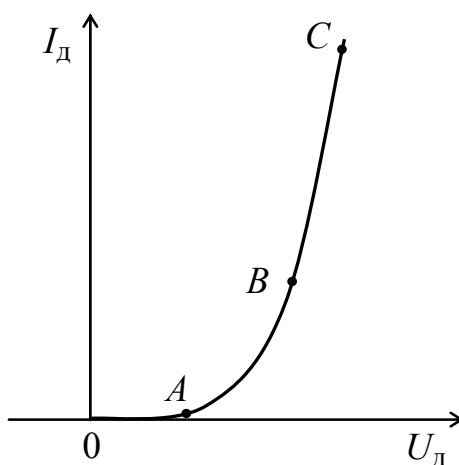


Рис. 5.4 — Вольтамперная характеристика диода

Если детектор работает на участке BC (см. рис. 5.2), близком к прямой линии, то выходной сигнал детектора изменяется пропорционально амплитуде детектируемого сигнала. Поэтому такой режим работы детектора называется линейным и используется в супергетеродинных приемниках для детектирования АМ сигналов.

При детектировании АМ сигнала (5.4) коэффициент передачи амплитудного детектора определяется в виде

$$K_{\text{д}} = \frac{U_{\text{нч}}}{mU}, \quad (5.6)$$

где $U_{\text{нч}}$ — действующее значение переменной низкочастотной составляющей выходного напряжения детектора.

Частотной характеристикой амплитудного детектора называется зависимость коэффициента передачи (5.6) от частоты Ω огибающей детектируемого сигнала.

5.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки изображена на рис. 5.5.

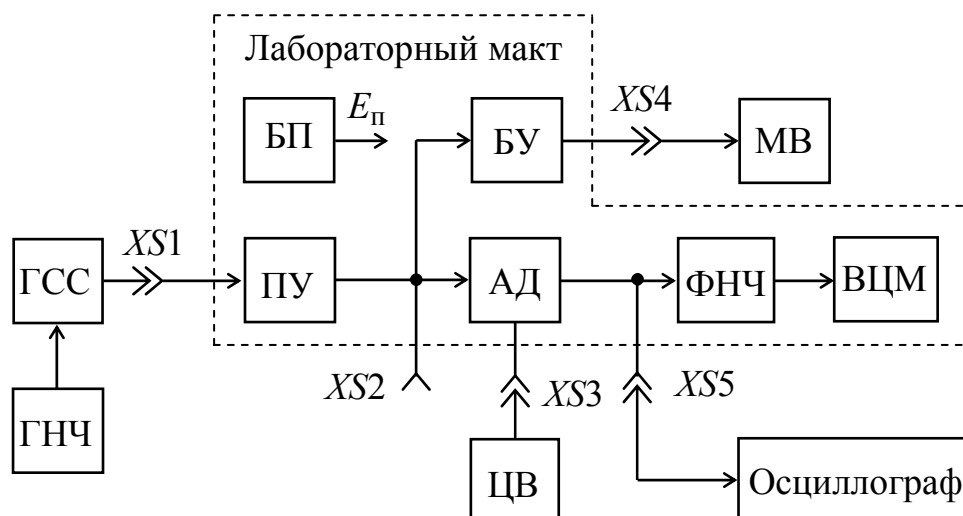


Рис. 5.5 — Структурная схема лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из: лабораторного макета; генератора стандартных сигналов ГСС (Г4-18); генератора сигналов низкой частоты ГНЧ (ГЗ-33); милливольтметра МВ (ВЗ-38), цифрового вольтметра ЦВ (В7-27А) и осциллографа (С1-65).

Лабораторный макет состоит из предварительного усилителя ПУ, амплитудного детектора АД, буферного усилителя БУ, встроенного цифрового милливольтметра ВЦМ и блока питания БП.

Электрическая схема лабораторного макета изображена на рис. 5.6. Поскольку в супергетеродинных приемниках на амплитудный детектор обычно подается выходной сигнал усилителя промежуточной частоты (УПЧ), то предварительный усилитель построен по схеме резонансного каскада, имитирующего выходной каскад УПЧ. Предварительный усилитель собран на транзисторе *УП1*, коллекторной нагрузкой которого является колебательный контур *L1 C3*, настроенный на частоту $f \approx 465$ кГц. Катушка связи *L2* индуктивно связана с контурной катушкой *L1* и напряжение на ней является выходным сигналом предварительного усилителя. Вход предварительного усилителя соединен через разделительный конденсатор *C2* с гнездом *XS1*, которое предназначено для подачи сигнала внешнего генератора.

Если переключатель *SA1* установлен в положение 1, то выход предварительного усилителя отключен от других каскадов макета. Если переключатель *SA1* установлен в положение 2, то выходное напряжение предварительного усилителя поступает на другие каскады макета.

Амплитудный детектор выполнен по последовательной схеме и состоит из диода *VD1* и *RC*-фильтра, образованного элементами R_{12} , R_{13} , R_{14} , C_9 , C_{10} . Параметры *RC*-фильтра можно изменять, переключая указанные элементы с помощью переключателей *SA4*, *SA5*.

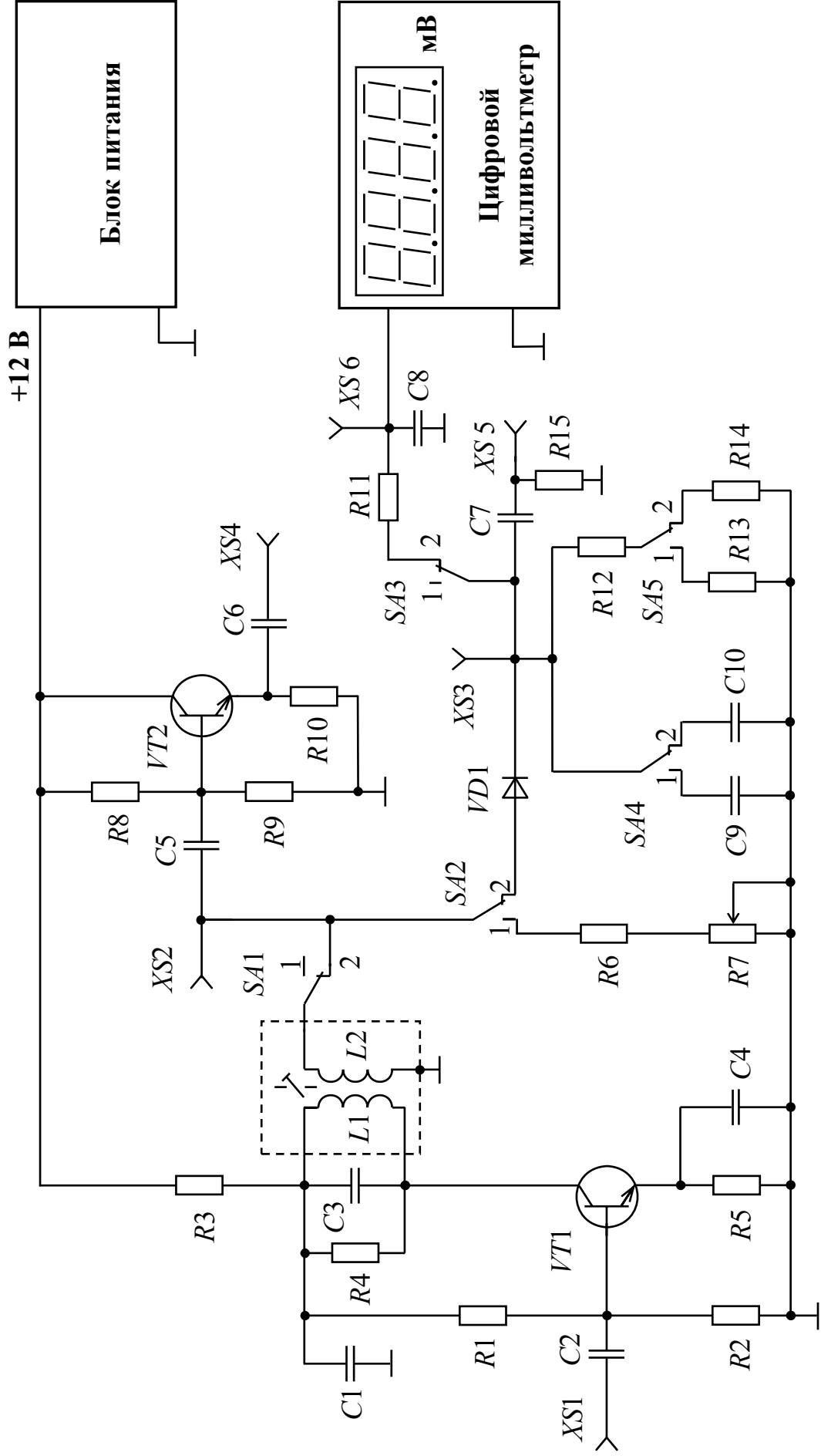


Рис. 5.5 — Электрическая схема макета амплитудного детектора

Буферный усилитель, выполненный по схеме эмиттерного повторителя на транзисторе $VT2$, имеет коэффициент передачи близкий к единице и обладает большим входным и малым выходным сопротивлениями. Если переключатель $SA1$ установлен в положение 2, то выходное напряжение буферного усилителя практически повторяет выходное напряжение предварительного усилителя. Вход буферного усилителя подключен через разделительный конденсатор $C5$ к гнезду $XS2$ и переключателям $SA1$ и $SA2$. Выход буферного усилителя подключен через разделительный конденсатор $C6$ к гнезду $XS4$.

Переключатель $SA2$ предназначен для подключения выхода предварительного усилителя либо к амплитудному детектору, либо к резистивной цепи $R6$, $R7$, которая используется в качестве эквивалента входного сопротивления амплитудного детектора.

Гнездо $XS3$ предназначено для контроля выходного напряжения амплитудного детектора. Гнездо $XS5$, подключенное к выходу амплитудного детектора через разделительный конденсатор $C7$, предназначено для контроля переменной составляющей выходного напряжения детектора.

Переключатель $SA3$ предназначен для подключения к выходу амплитудного детектора цифрового милливольтметра постоянного напряжения, встроенного в лабораторный макет. На входе милливольтметра включен фильтр нижних частот $R11$, $C8$, выделяющий постоянную составляющую выходного напряжения детектора. Гнездо $XS6$ предназначено для контроля работы встроенного милливольтметра.

Питание макета осуществляется стабилизированным напряжением 12 В, которое вырабатывает сетевой блок питания, встроенный в макет.

5.4. Задание на лабораторную работу

Измерить основные характеристики диодного детектора: детекторную характеристику, коэффициент фильтрации, входное сопротивление и частотную характеристики.

5.5. Подготовка лабораторной установки к работе

5.5.1. Подключить выход “ μV ” генератора стандартных сигналов Г4-18 к входу предварительного усилителя (гнездо $XS1$) и установить органы управления генератора в следующие положения:

- переключатель рода работы в положение “ВНЕШ. МОД”;
- переключатель поддиапазонов в положение “0,3...1 МГц”;
- тумблер “Уровень К — М%” в положение “Уровень К”.

5.5.3. Подключить вход милливольтметра ВЗ-38 к выходу буферного усилителя (гнездо $XS4$ лабораторного макета) и установить переключатель пределов измерения милливольтметра в положение 100 мВ.

5.5.4. Включить питание измерительных приборов и лабораторного макета и дать им прогреться 3 минуты.

5.6. Измерение детекторной характеристики детектора

5.6.1. Установить переключатели $SA1$, $SA2$, $SA3$, $SA4$, $SA5$ в положение 2.

5.6.2. Перестраивая частоту генератора Г4-18 ручкой грубой настройки “Г”, установить частоту его выходного сигнала равной 0,45 МГц.

5.6.2. С помощью регулировок генератора Г4-18 “ВЫХОД” и “Уст. ур. К” установить на его выходе напряжение, при котором выходное напряжение буферного усилителя (гнездо $XS4$) будет равно 50 мВ. Затем с помощью ручки плавной настройки подстроить частоту генератора Г4-18 так, чтобы она совпала с резонансной частотой предварительного усилителя. При этом выходное напряжение буферного усилителя достигает максимального значения. Найденное значение частоты записать в протокол.

5.6.4. Изменяя выходное напряжение U буферного усилителя от 50 до 1000 мВ (см. таблицу 5.1) путем регулировки выходного напряжения генератора Г4-18, измерить значения постоянной составляющей U_0 выходного напряжения амплитудного детектора по показаниям встроенного в макет цифрового милливольтметра. Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

5.6.5. Полагая коэффициент передачи буферного усилителя равным $K \approx 0,9$. Для каждого значения напряжения U_0 рассчитать амплитуду входного напряжения детектора $U_m = \sqrt{2}U/K \approx 1,57U$, а также коэффициент передачи детектора по формуле (5.2). Результаты расчета занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 — Результаты измерения детекторной характеристики

U , мВ	25	50	75	100	125	150	200	250	400	600	1000
U_0 , мВ											
U_m , мВ											
$K_{д0}$											

5.7. Измерение коэффициента фильтрации детектора

5.7.1. Установить переключатель $SA3$ в положение 1, что позволяет исключить влияние встроенного цифрового милливольтметра на характеристики детектора, измеряемые при выполнении последующих пунктов работы.

5.7.2. Регулируя выходное напряжение генератора Г4-18, установить на выходе буферного усилителя (гнездо $XS4$) напряжение $U = 1$ В.

5.7.3. Подстроить частоту генератора стандартных сигналов так, чтобы она совпадала с резонансной частотой предварительного усилителя.

5.7.4. Подключить вход усилителя вертикального отклонения осциллографа к выходу амплитудного детектора (гнездо $XS3$).

5.7.5. Установить органы управления осциллографа в следующие положения:

— ступенчатую регулировку коэффициента усиления “V/дел.” в положение “0,01”;

- плавную регулировку коэффициента усиления “V/дел.” в положение, соответствующее максимальному усилению;
- переключатель входа “Y” в положение “~”;
- переключатель вида синхронизации в положение “Внутр.”;
- переключатель вида развертки в положение “Z”;
- множитель скорости развертки в положение “x1”;
- переключатель скорости развертки “Время/дел” в положение “1 мс”.

С помощью ручек управления синхронизацией развертки осциллографа “ВЧ” и “Уровень” получить устойчивую осциллограмму выходного напряжения детектора, позволяющую наблюдать пульсации с частота несущей детектируемого радиосигнала (см. рис. 5.1).

5.7.6. Используя масштабную сетку, нанесенную на экран осциллографа, измерить амплитуду $U_{\text{п}}$ и период повторения T_0 пульсаций при положениях переключателей $SA4$, $SA5$, указанных в таблице 5.2. Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 — Результаты измерения коэффициента фильтрации

Параметр	Положение переключателей $SA4$, $SA5$			
	1, 1	1, 2	2, 1	2, 2
$U_{\text{п}}$, мВ				
T_0 , мкс				
$K_{\text{ф}}$				

5.7.7. Для каждой комбинации положений переключателей $SA4$, $SA5$ рассчитать по формуле (5.3) коэффициента фильтрации $K_{\text{ф}}$ детектора и полученные значения занести в таблицу 5.2.

5.8. Измерение входного сопротивления детектора

5.8.1. Установить переключатели $SA4$ и $SA5$ в положение 2 и, регулируя выходное напряжение генератора стандартных сигналов, получить на выходе буферного усилителя (гнездо $XS4$) напряжение $U = 500$ мВ.

5.8.2. Подстроить частоту генератора Г4-18 так, чтобы она совпадала с резонансной частотой предварительного усилителя.

5.8.3. Установить переключатель $SA2$ в положение 1. При этом выходной сигнал предварительного усилителя поступает не на вход амплитудного детектора, а на резистивную цепь $R6$, $R7$. Плавно изменяя сопротивление потенциометра $R7$, снова добиться получения на выходе буферного усилителя напряжения 500 мВ. При этом сопротивление цепи $R6$, $R7$ будет эквивалентно входному сопротивлению амплитудного детектора.

5.8.4. Установить переключатель $SA1$ в положение 1, а переключатель $SA2$ в положение 2, в результате чего резистивная цепь $R6$, $R7$ отключается от схемы макета.

5.8.5. Подключить вход “U=R” цифрового вольтметра В7-27А к гнезду XS2 макета и переключить вольтметр в режим измерения сопротивления с пределом измерения “100 кОм”.

5.8.6. Измерить сопротивление цепи R_6 , R_7 и занести полученное значение в протокол.

5.8.7. Установить переключатели SA5 в положение 1 и повторить действия в соответствии с п.п. 5.8.2...5.8.6.

5.8.8. По окончании измерений отключить вход “U=R” цифрового вольтметра В7-27А от гнезда XS2 макета.

5.9. Измерение частотной характеристики детектора

5.9.1. Установить переключатель рода работы генератора Г4-18 в положение “ВНЕШ. МОД”, соответствующее режиму амплитудной внешней модуляции.

5.9.2. Подключить выход генератора низкой частоты Г3-33 к входу внешней модуляции “ВНЕШ. МОД” генератора Г4-18.

5.9.3. Установить органы управления генератора Г3-33 в следующие положения:

— регуляторы частоты в положение, соответствующее частоте выходного сигнала 500 Гц;

— переключатель “ПРЕДЕЛЫ ШКАЛ (ОСЛАБЛЕНИЕ)” в положение “1-3-10 V”;

— переключатель “ВЫХ. СОПРОТИВЛЕНИЕ Ω ” в положение “600”.

5.9.4. Регулируя выходное напряжение генератора Г4-18, получить на выходе буферного усилителя (гнездо XS4) напряжение $U = 500$ мВ.

5.9.5. Регулируя выходное напряжение генератора Г3-33, установить на выходе генератора Г4-18 амплитудно-модулированное напряжение с коэффициентом модуляции 30% ($m = 0,3$) по показаниям стрелочного индикатора, встроенного в генератор Г4-18.

5.9.6. Подстроить частоту генератора Г4-18 так, чтобы она совпадала с резонансной частотой предварительного усилителя. При этом выходное напряжение буферного усилителя достигает максимального значения.

5.9.7. Подключить вход переменного напряжения цифрового вольтметра В7-27А “~300V макс” к выходу детектора (гнездо XS5).

5.9.4. Изменяя частоту генератора Г3-33 (частота модулирующего сигнала) от 0,5 до 10 кГц и поддерживая коэффициент модуляции равным 30%, измерить значения переменной составляющей $U_{нч}$ выходного напряжения детектора (гнездо XS5). Результаты измерений занести в таблицу 5.5.

5.9.5. Для каждого значения частоты модулирующего сигнала рассчитать коэффициента передачи K_d детектора по формуле (5.6) и полученные результаты занести в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 — Результаты измерения частотной характеристики

детектора

F , кГц	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{нч}}$, мВ											
$K_{\text{д}}$											

5.10. Содержание отчёта

5.10.1. Отчет оформляется в соответствии с требованиями, указанными в п.

1.

5.10.2. В отчете необходимо привести:

- цель работы;
- структурную схему лабораторной установки и электрическую схему исследуемого амплитудного детектора;
- результаты экспериментов и расчетов;
- графики измеренных характеристик детектора;
- выводы, поясняющие особенности измеренных характеристик.

5.11. Вопросы для самоконтроля

5.11.1. Нарисуйте схему последовательного амплитудного диодного детектора и поясните ее работу.

5.11.2. Нарисуйте временные диаграммы напряжений на входе и выходе детектора, а также на диоде при детектировании немодулированного и модулированного сигналов.

5.11.3. Дайте определение детекторная характеристика и коэффициента передачи амплитудного детектора?

5.11.4. В чем особенности квадратичного и линейного режимов работы амплитудного диодного детектора?

5.11.5. Из каких соображений выбирают сопротивление и емкость нагрузки детектора?

5.11.6. Объясните причины искажений, возникающих при работе амплитудного диодного детектора.

5.11.7. От чего зависит входное сопротивление амплитудного диодного детектора?

5.11.8. Чем ограничен частотный диапазон работы детектора со стороны несущей детектируемого сигнала?

5.11.9. Чем ограничен частотный диапазон работы детектора со стороны модулирующего сигнала?

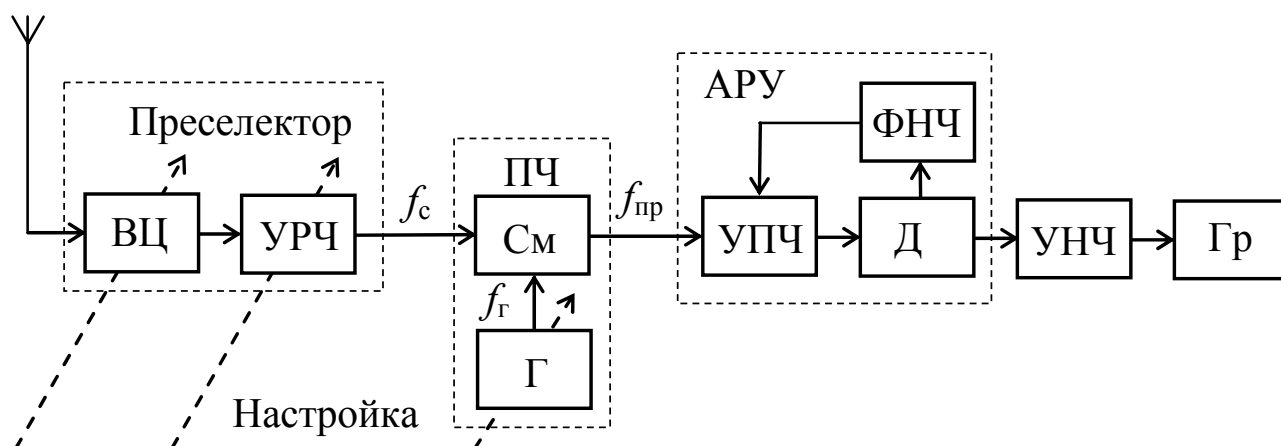
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 “ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩАТЕЛЬНОГО РАДИОПРИЕМНИКА”

6.1. Цель работы

Целью работы является изучение принципа построения вещательного супергетеродинного приёмника и методов измерения его основных характеристик.

6.2. Краткие теоретические сведения

В настоящее время основное применение в технике радиоприёма вещательных программ находит супергетеродинный приёмник, структурная схема которого изображена на рисунке 6.1.



ВЦ — входная цепь; УРЧ — усилитель радиочастоты; См — смеситель; Г — гетеродин; ПЧ — преобразователь частоты; УПЧ — усилитель промежуточной частоты; Д — детектор (демодулятор); УНЧ — усилитель низкой частоты; Гр — громкоговоритель

Рис. 6.1 — Структурная схема вещательного супергетеродинного приёмника

Преселектор приёмника, который состоит из входной цепи ВЦ и усилителя радиочастоты УРЧ, настраивается на частоту принимаемого радиосигнала и обеспечивает следующее:

- согласование приёмника с антенно-фидерным трактом;
- заданное подавление побочных каналов приёма (зеркального, прямого и комбинационных);
- усиление принимаемого сигнала до уровня, превышающего в заданное число раз уровень шумов смесителя.

Частоту сигнала, на которую настроен преселектор, называют частотой основного канала приема супергетеродинного приемника.

Преобразователь частоты ПЧ состоит из смесителя См и гетеродина Г. Гетеродин представляет собой маломощный генератор синусоидального сигнала. При преобразовании частоты спектр принимаемого сигнала сдвигается по оси

частот с частоты f_c , которая различна для разных радиостанций, на фиксированную промежуточную частоту $f_{пр} = |f_{Г} - f_c|$.

Усилитель промежуточной частоты УПЧ обеспечивает основное усиление сигнала, а также заданную избирательность приемника по соседнему каналу. При приеме амплитудно-модулированных сигналов вещательных радиостанций в диапазонах длинных, средних и коротких волн соседним каналом называют сигнал, отстоящей по частоте от основного канала на ± 10 кГц.

Детектор Д преобразует выходной сигнал УПЧ в ток или напряжение, повторяющее закон модуляции этого сигнала. Продетектированный сигнал усиливается усилителем низкой частоты УНЧ и поступает на громкоговоритель ГР.

Основным недостатком супергетеродинного приёмника является образование побочных каналов приёма (зеркального, прямого и комбинационных) (см. рис. 4.4).

6.3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (см. рис. 6.2) состоит из лабораторного макета, генератора стандартных сигналов ГСС; цифрового частотомера ЦЧ; милливольтметра МВ переменного напряжения.

Частотомер предназначен для измерения частоты выходного сигнала генератора сигналов. Милливольтметр используют для измерения уровня сигнала на выходе усилителя низкой частоты (УНЧ) радиоприёмника. Величину входного напряжения радиоприёмника определяют по положению ручек управления аттенюаторами, встроенными в генератор сигналов.

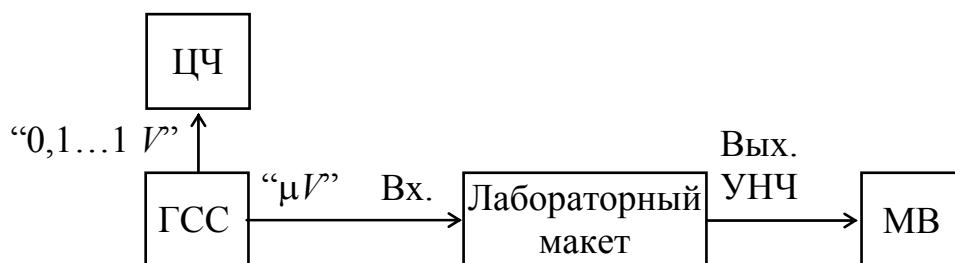


Рис. 6.2 — Структурная схема лабораторной установки

Лабораторный макет состоит из пульта управления и вещательного радиовещательного радиоприёмника “Океан-209”.

На передней панели пульта управления расположены:

- гнезда “Вх. УНЧ” и “Вых. УНЧ”, соединенные с входом и выходом усилителя низкой частоты (УНЧ) приемника соответственно;
- гнездо “Вх. А”, соединенное через эквивалент антенны с антенным входом приемника;
- переключатель “АРУ” для включения и выключения системы АРУ приемника;
- переключатель “Гр” для переключения выходного сигнала УНЧ с динамической головки приемника на гнезда “Вых. УНЧ”.

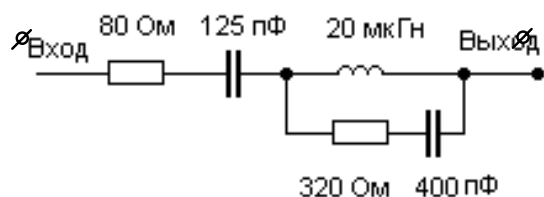


Рис. 6.3 — Схема эквивалента антенны

Значение промежуточной частоты приемника в диапазонах ДВ, СВ, КВ равно 465 кГц, а в диапазоне УКВ 10,7 МГц. Питается радиоприёмник от сети 220 В, 50 Гц и включается кнопкой, расположенной на его передней панели.

Сигнал с выхода генератора сигналов поступает на вход радиоприёмника через эквивалент антенны (см. рисунок 6.3), встроенный в лабораторный макет.

Основные технические характеристики приёмника “Океан 204” представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 — Технические характеристики приёмника “Океан 204” при работе на коротковолновых (КВ) поддиапазонах

Наименование характеристики	Коротковолновые поддиапазоны приемника				
	КВ5	КВ4	КВ3	КВ2	КВ1
Частота, МГц	3,9...6	5,9...6,2	7,1...7,3	9,5...9,8	11... 12
Чувствительность, мкВ	50	50	50	50	50
Избирательность, дБ	40	40	40	40	40
Полоса пропускания, кГц	8	8	8	8	8

6.4. Задание на лабораторную работу

Измерить реальную чувствительность и частотную избирательность вещательного приемника. Снять амплитудную характеристику приемника.

6.5. Подготовка лабораторной установки к работе

Собрать лабораторную установку (см. рисунок 6.1), для чего подключить:

- выход “ μV ” генератора ГС к гнездам “Вх. А”, расположенным на передней панели пульта управления;
- выход “1V” генератора ГС к входу “А” частотомера;
- вход милливольтметра МВ к гнездам “Вых УНЧ”, расположенным на передней панели пульта управления.

Установить органы управления генератора сигналов в следующие положения:

- переключатель поддиапазонов в положение, заданное преподавателем;
- тумблеры “ μV ” и “1V” в положение “Выкл”;
- ступенчатый аттенюатор выходного сигнала в положение “ $\times 10$ ” красной шкалы;
- тумблер вид модуляции в положение “Внутр.”;
- регулятор глубины модуляции в положение, соответствующее глубине

модуляции 30%.

На передней панели лабораторного макета установить:

- переключатель “АРУ” в положение “Выкл.”;
- переключатель “Гр” в положение “Вкл.”;
- регулятор громкости приёмника в среднее положение.

Установить переключатель пределов измерения милливольтметра в положение “100 мВ”.

Включить радиоприёмник и измерительные приборы и прогреть их в течение не менее пяти минут.

6.6. Определение чувствительности и частотной избирательности приёмника

6.6.1. С помощью переключателя поддиапазонов выбрать поддиапазон длин волн, указанный преподавателем. При этом необходимо учитывать, что на шкалах поддиапазонов приемника нанесены значения длин волн. Настроить радиоприёмник при помощи ручки “Настройка” на частоту f_0 , при которой в динамической головке приемника слышен внутренний шум приемника, который на слух воспринимается, как “шипение” или “шелест”. В случае большого уровня внешних помех, которые на слух воспринимаются, как “гудение” или “рокот”, следует плавно изменить частоту настройки приемника.

6.6.2. Переключить тумблер “Гр” пульта управления в положение “Выкл.” и установить регулятором громкости приемник напряжение шума на выходе УНЧ равным 60 мВ по показаниям милливольтметра, подключенного к гнездам “Вых. УНЧ” лабораторного макета.

6.6.3. Переключить тумблер “ μV ” генератора сигналов в положение “Вкл.” и, пользуясь встроенными аттенюаторами. Установить выходное напряжение генератора сигналов равным 20 мкВ и, изменяя его частоту, настроить генератор на частоту, равную частоте настройки приемника, ориентируясь на появление тонального звукового сигнала с частотой модуляции 1000 Гц на выходе приемника. Плавнo перестраивая частоту генератора сигналов, добиться максимальной громкости звучания сигнала на выходе приемника.

6.6.4. Переключить тумблер “Гр” пульта управления в положение “Выкл.” и, плавно изменяя частоту генератора сигналов, добиться максимума сигнала на выходе приемника по показаниям милливольтметра.

6.6.5. Установить переключатель пределов милливольтметра в положение “1В”. Изменяя выходное напряжение генератора сигналов, установить на выходе “Вых. УНЧ” макета напряжения 0,6 В по показаниям милливольтметра, что соответствует выходной мощности $P_{\text{вых}}$ приёмника равной $P_{\text{вых}} = 50 \text{ мВт}$ при отношении сигнал/шум на выходе $\gamma_{\text{вых}} = 10$.

При выполнении указанных условий значение U_0 выходного напряжения генератора сигналов, определяемое по шкалам его внутренних аттенюаторов, равно реальной чувствительности приёмника. Результат измерения реальной чувствительности U_0 занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 — Результаты измерения чувствительности, полосы пропускания и частотной избирательности приемника

Параметр	Частота настройки приемника, $f_0 =$ кГц
	Значение измеряемого параметра
U_0 , мкВ	
$\Pi_{0,7}$, кГц	
$Se_{ск}$, дБ	
$Se_{пк}$, дБ	
$Se_{зк}$, дБ	

6.6.6. Установить тумблер “1V” генератора сигналов в положение “Вкл.” и измерить частоту принимаемого сигнала с помощью цифрового частотомера. Измеренное значение частоты занести в таблицу 6.2. Установить тумблер “1V” генератора сигналов в положение “Выкл.”.

Внимание! После каждого измерения частоты необходимо устанавливать тумблер “0,1...1V” генератора сигналов в положение “Выкл.” для исключения паразитной наводки, проникающей на антенный вход приемника с выхода “0,1...1V” генератора сигналов.

6.6.7. Измерить полосу пропускания $\Pi_{0,7}$ по уровню 0,7 приёмника, настроенного на частоту f_0 . Для этого, плавно уменьшая частоту генератора, найти ее значение $f_1 < f_0$, при котором выходное напряжение приёмника уменьшается до уровня 0,7 от максимального значения, соответствующего точной настройке приемника на частоту f_0 . Измерить частоту принимаемого сигнала с помощью цифрового частотомера, выполняя действия, указанные в п. 6.6.6.

Плавное увеличение частоты генератора, найти ее значение $f_1 < f_0$, при котором выходное напряжение приёмника также уменьшается до уровня 0,7 от максимального значения, соответствующего точной настройке приемника на частоту f_0 . Измерить частоту принимаемого сигнала с помощью цифрового частотомера, выполняя действия, указанные в п. 6.6.6.

Рассчитать полосу пропускания приёмника $\Pi_{0,7} = |f_1 - f_2|$ и результат расчёта занести в таблицу 6.2.

6.6.8. Измерить частотную избирательность приёмника по соседнему каналу. Установить частоту генератора, равной частоте одного из соседних каналов $f_{ск1} = f_0 + 10 \text{ кГц}$ или $f_{ск2} = f_0 - 10 \text{ кГц}$ по показаниям цифрового частотомера, выполняя действия, указанные в п. 6.6.6. Затем, увеличивая выходное на-

пряжение генератора с помощью его внутренних аттенюаторов, получить на выходе “Вых. УНЧ” макета значение напряжения 0,6 В по показаниям милливольтметра. Определить по шкалам аттенюаторов генератора сигналов его выходное напряжение $U_{ск}$.

Рассчитать избирательность приемника по соседнему каналу по формуле

$$Se_{ск} = 20 \lg \frac{U_{ск}}{U_0},$$

где U_0 — значение реальной чувствительности приемника, измеренное ранее при выполнении п. 6.6.5.

Результат расчета занести в таблицу 6.2.

6.6.9. Измерить избирательность приёмника по прямому каналу. Для этого установить частоту генератора сигналов, равной частоте прямого канала $f_{пр} = 465$ кГц по показаниям цифрового частотомера, выполняя действия, указанные в п. 6.6.6. Затем увеличивая выходное напряжение генератора сигналов с помощью его внутренних аттенюаторов, снова получить на выходе “Вых. УНЧ” макета значение напряжения 0,6 В по показаниям милливольтметра. При этом следует подстраивать частоту генератора сигналов в районе предполагаемой частоты прямого канала до получения максимального выходного напряжения. Определить по шкалам аттенюаторов генератора сигналов его выходное напряжение $U_{пк}$.

Рассчитать избирательность приемника по прямому каналу

$$Se_{пк} = 20 \lg \frac{U_{пк}}{U_0}.$$

Результаты расчета занести в таблицу 6.2.

6.6.10. Измерить избирательность приёмника по зеркальному каналу. Для этого установить частоту генератора сигналов, равной частоте зеркального канала $f_{зк} = f_0 + 2f_{пр}$ по показаниям цифрового частотомера, выполняя действия, указанные в п. 6.6.6. После чего, увеличивая выходное напряжение генератора сигналов с помощью его внутренних аттенюаторов, снова получить на выходе приёмника значение напряжения 0,6 В по показаниям милливольтметра. При этом следует подстраивать частоту генератора сигналов в районе предполагаемой частоты зеркального канала до получения максимального выходного напряжения. Определить по шкалам аттенюаторов генератора сигналов напряжение $U_{зк}$ входного сигнала приемника.

Рассчитать избирательность приемника по зеркальному каналу

$$Se_{зк} = 20 \lg \frac{U_{зк}}{U_0}.$$

Результаты расчета занести в таблицу 6.3.

6.7. Измерение амплитудной характеристики приёмника

6.7.1. Регулируя частоту и уровень выходного сигнала генератора, подать на вход приемника сигнал, частота которого равна частоте его настройки, а уровень — реальной чувствительности приемника при отключенной системе АРУ.

6.7.2. Изменяя коэффициент модуляции m выходного сигнала генератора, измерить напряжение на выходе приёмника $U_{\text{вых}}$ при значениях m , указанных в таблице 6.3. Результаты измерений занести в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 — Результаты измерения амплитудной характеристики приёмника

Параметр	Коэффициент модуляции m								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$U_{\text{вых}}, \text{В}$ (АРУ отключена)									
$U_{\text{вых}}, \text{В}$ (АРУ включена)									

6.7.3. Установить тумблер “АРУ”, расположенный на передней панели лабораторного макета, в положение “Вкл.” и выполнить измерения в соответствии с п.п. 6.7.1 и 6.7.2. Результаты измерений занести в таблицу 6.3.

6.8. Содержание отчёта

6.8.1. Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, указанными в п. 1.

6.8.2. В отчете необходимо привести структурную схему исследуемого приемника.

6.8.3. Результаты измерений и расчетов (в виде таблиц с заголовками, а также отдельных данных).

6.8.4. График зависимости реальной чувствительности радиоприёмника от частоты принимаемых сигналов, графики амплитудных характеристик радиоприёмника при включённой и выключенной системе АРУ.

6.8.5. Необходимо рассчитать неравномерность чувствительности приемника по частному диапазону как отношение её максимального и минимального значений.

6.8.6. В выводах необходимо сравнить чувствительность приемника добротности и частотной избирательности на разных частотах настройки и охарактеризовать неравномерность частотных зависимостей $\Pi_{0,7}(f_0)$ и $K_0(f_0)$. Пояснить причина различия амплитудных характеристик приемника, измеренных при включенной и отключенной системе АРУ.

6.9. Вопросы для самоконтроля

6.9.1. Дайте определение реальной чувствительности радиоприёмника.

6.9.2. Пояснить принцип измерения реальной чувствительности.

6.9.3. Что называют побочными каналами приема супергетеродинного приемника, и какой блок приемника обеспечивает их подавление.

6.9.4. Дайте определение частотной избирательности радиоприёмника по побочным каналам приема.

6.9.5. Дайте определение соседнего канала приемника и поясните, какой блок радиоприёмника обеспечивает его подавление.

6.9.6. Как зависит частотная избирательность по побочным каналам от величины промежуточной частоты приемника?

6.9.7. Поясните методику измерения полосы пропускания приёмника.

6.9.8. Как влияет включение и отключение АРУ приемника на результаты измерения его амплитудной характеристики?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по оформлению текстовых работ для студентов дневной и заочной форм обучения направления 0907 — “Радиотехника” / В. Г. Слезкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. — 15 с.

2. Онищук А.Г. Радиоприемные устройства: учеб. пособие / А.Г. Онищук, И.И. Забеньков, А.М. Амелина. — Минск: Новое знание, 2007. — 240 с.

3. Головин О. В. Радиоприемные устройства / О. В. Головин. — М.: Горлина-Телеком, 2004. — 384 с.

4. Буга Н. Н. Радиоприёмные устройства / Н. Н. Буга, А. И. Фалько, Н. И. Чистяков. — М.: Радио и связь, 1986. — 320 с.

5. Воллернер Н. Ф. Радиоприёмные устройства / Н. Ф. Воллернер. — К.: Вища школа, 1993. — 391 с.

6. Радиоприемные устройства учеб. Пособие для радиотехнич. спец. вузов / Давыдов Ю.Т., Данич Ю.С., Жуковский А.П, Захаров Ю.С., Протопопов А.С., Цветнов В.В.; под ред. А.П. Жуковского. — М.: Высш. шк., 1989. — 342 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Образец титульного листа

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

Факультет радиоэлектроники
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

Лабораторная работа

(название лабораторной работы)

по дисциплине **“Прием и обработка сигналов”**

Выполнил студент гр. _____

(ф.и.о.)

Отметка о защите _____

Преподаватель _____
(ф.и.о.)

Севастополь
20__

Заказ № _____ от “ _____ ” _____ 2012 г. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ