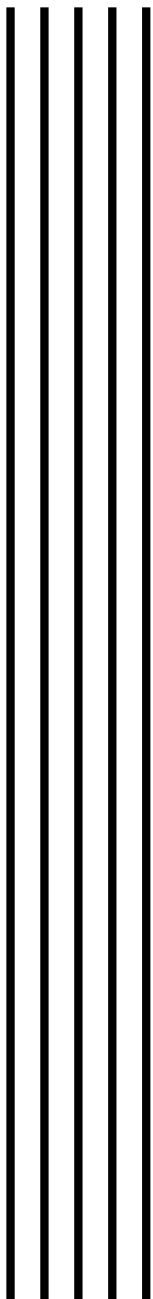


Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



Кафедра радиотехники и телекоммуникаций



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Лабораторный практикум
по дисциплине

“ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ”

для студентов дневной и заочной форм обучения
направления 6.050901 — “Радиотехника”

Часть 2

Севастополь
2009

УДК 621.396.62 (75)

Методические указания. Лабораторный практикум по дисциплине “Приём и обработка сигналов” для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.050901 — “Радиотехника”: в 2 ч., Ч.2. / С. Р. Зиборов. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. — 64 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении лабораторных работ по дисциплине “Приём и обработка сигналов”.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № 5 от 6 января 2009 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: канд. техн. наук, доцент 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. Лабораторная работа № 1	
Исследование УПЧ радиолокационного приемника.....	7
2. Лабораторная Работа № 2	
Исследование автоматической регулировки усиления.....	15
3. Лабораторная работа №3	
Исследование системы подавление импульсных помех.....	26
4. Лабораторная работа № 4	
Исследование связного приемника	35
5. Лабораторная работа №5	
Компьютерное моделирование преселектора приемника	45
Библиографический список.....	49
Приложение А Образец титульного листа	50
Приложение Б Определение выходного напряжения ГСС.....	51
Приложение В Основные сведения о программе <i>MicroCap</i>	52

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АД — амплитудный детектор
АМ — амплитудный модулятор
АПЧ — автоматическая подстройка частоты
АРУ — автоматическая регулировка усиления
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика
ГСС — генератор стандартных сигналов
ГИ — генератор импульсов
ЗК — зеркальный канал
КК — комбинационный канал
Мв — милливольтметр
ОА — ограничитель амплитуды
ОК — основной канал
ПК — прямой канал
РЛС — радиолокационная станция
УПТ — усилитель постоянного тока
УПЧ — усилитель промежуточной частоты
РА — регулируемый аттенюатор
РЛС — радиолокационная станция
РУ — регулируемый усилитель
СК — соседний канал
УУ — узкополосный усилитель
ФНЧ — фильтр нижних частот
ШОУ — широкополосный усилитель — ограничитель — узкополосный усилитель
ШУ — широкополосный усилитель
ЦВ — цифровой вольтметр
ЦЧ — цифровой частотомер
ЭО — электронный осциллограф

ВВЕДЕНИЕ

Правила выполнения лабораторных работ

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 описание предстоящей лабораторной работы;
- изучить методику проведения необходимых измерений и расчетов;
- 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 для исследования лабораторного макета.

Питание измерительных приборов и лабораторного макета включается только после проверки преподавателем правильности сборки лабораторной установки.

При выполнении очередного опыта рекомендуется сначала произвести этот опыт без всяких 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.

При выполнении моделирования на персональном компьютере скопировать электронный протокол лабораторной работы на личный носитель информации (дискету, флэш-память и т. п.).

После завершения работы преподаватель просматривает и подписывает протокол выполненной работы, на основании которого студенты оформляют отчеты.

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.

Правила оформления лабораторных работ

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 к каждой лабораторной работе.

При выполнении предварительных расчетов необходимо привести исходные данные для расчета, расчетные соотношения и результаты расчетов.

При пояснении результатов экспериментов необходимо указать условия каждого эксперимента, озаглавить таблицы с экспериментальными данными, формулы для обработки данных, а также результаты обработки.

По полученным экспериментальным данным и результатам расчетов необходимо построить графики исследуемых зависимостей с соответствующими 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, а в случае их расхождения высказать предположение о возможных причинах, вызвавших такое расхождение.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ УПЧ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА

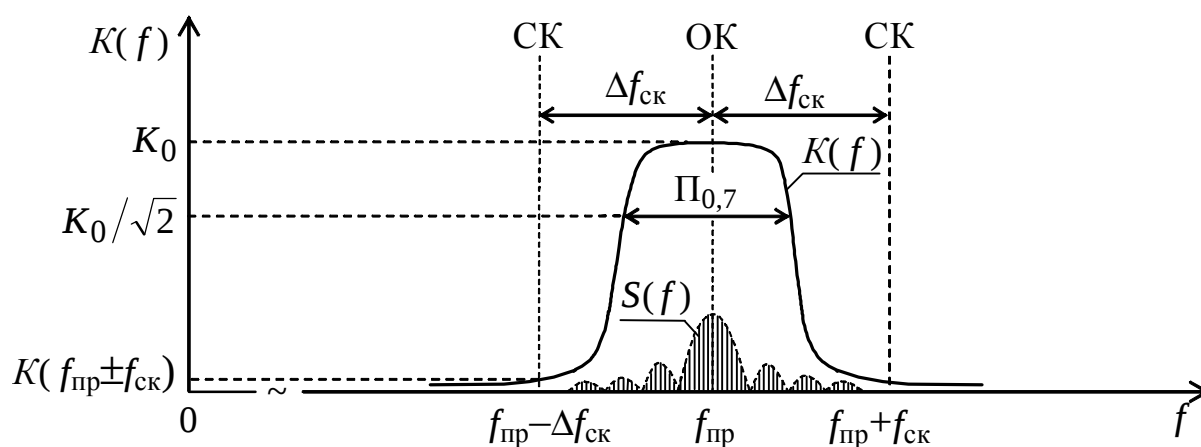
1.1. Цель работы

Целью работы является исследование характеристик УПЧ радиолокационного приемника.

1.2. Краткие теоретические сведения

Радиолокационная станция состоит из передатчика, приемо-передающей антенны и приемника. Передатчик вырабатывает периодическую последовательность зондирующих радиоимпульсов, которые подводятся в антенне и излучаются в пространство в виде зондирующих электромагнитных волн. Если при распространении зондирующая волна встречает на своем пути объект (цель), обладающий отражательной способностью, то образуется отраженная волна, которая движется в направлении обратном зондирующей волне. Отраженные волны улавливаются антенной РЛС и преобразуются во входной сигнал приемника. При наличии нескольких целей за один период повторения зондирующих импульсов на вход приемника РЛС может поступить множество отраженных сигналов. Исполнительным устройством приемника обычно является монитор, на экране которого отраженные сигналы наблюдаются, в виде ярких точек (отметок целей), каждая из которых определяет положение одной из целей в полярной или прямоугольной системе координат.

В приемнике основное усиление принимаемого сигнала обеспечивается с помощью УПЧ, который является наиболее узкополосным звеном линейного тракта приемника. Поэтому чувствительность и частотная избирательность радиолокационного приемника в значительной степени определяются УПЧ, амплитудно-частотная характеристика $K(f)$ которого изображена на рис. 1.1 вместе с амплитудным спектром $S(f)$ принимаемого сигнала.



СК — соседний канал; ОК — основной канал

Рис. 1.1 — Амплитудно-частотная характеристика $K(f)$ УПЧ и амплитудный спектр $S(f)$ принимаемого сигнала

Основными параметрами УПЧ являются:

- резонансный коэффициент усиления K_0 ;
- полоса пропускания $\Pi_{0,7}$ на уровне $1/\sqrt{2} \approx 0,7$ относительно резонансного коэффициента усиления K_0 ;
- коэффициент прямоугольности АЧХ, определяемый по формуле

$$K_\gamma = \frac{\Pi_\gamma}{\Pi_{0,7}}; \quad (1.1)$$

где Π_γ — полоса пропускания УПЧ на уровне $\gamma < 0,707$;

- коэффициент шума, определяемый по формуле

$$N \approx \frac{U_{\text{ш вх}}^2}{4kT_0 R_\Gamma \Pi_{\text{ш}} q_{\text{вых}}}, \quad (1.2)$$

где $U_{\text{ш вх}}$ — напряжение шума, приведенное к входу УПЧ;

$q_{\text{вых}}$ — отношение сигнал/шум на выходе УПЧ;

$T_0 = 290 \text{ К}$ — стандартная температура;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/град}$ — постоянная Больцмана;

$R_\Gamma = 75 \text{ Ом}$ — выходное сопротивление ГСС;

$\Pi_{\text{ш}} \approx 1,1\Pi_{0,7}$ — шумовая полоса пропускания УПЧ.

1.3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 1.2) состоит из лабораторного макета и комплекта радиоизмерительных приборов:

- генератор стандартных сигналов ГСС;
- цифровой частотомер ЦЧ;
- генератор импульсов ГИ;
- цифровой вольтметр ЦВ;
- электронный осциллограф ЭО.

Лабораторный макет состоит из амплитудного модулятора АМ, многокаскадного УПЧ, настроенного на частоту $f_{\text{пр}} \approx 30 \text{ МГц}$ и амплитудного детектора АД.

Высокочастотный гармонический сигнал, снимаемый с выхода “ μV ” ГСС, подается на вход XS 1 лабораторного макета и далее на первый вход амплитудного модулятора. Сигнал ГСС, снимаемый с его выхода “1 V”, подается на вход цифрового частотомера для контроля частоты настройки ГСС.

Генератор импульсов вырабатывает периодическую последовательность прямоугольных импульсов, которые с его основного выхода “ $\neg$ ” подаются на

вход $XS2$ макета. Если переключатель $S1$ установлен в положение 2, то импульсы ГИ поступают на второй вход амплитудного модулятора. При этом выходной сигнал модулятора имеет вид радиоимпульсов с прямоугольной огибающей, которые поступают на вход УПЧ. Длительность и период повторения радиоимпульсов определяются длительностью и периодом повторения импульсов ГИ, а частота несущей — частотой настройки ГСС.

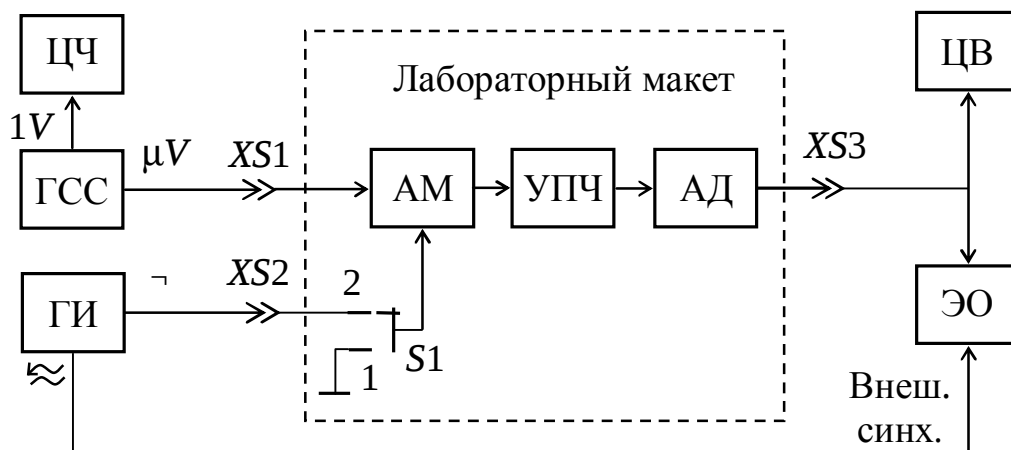


Рис. 1.2 — Структурная схема лабораторной установки для исследования УПЧ

Выходной сигнал УПЧ детектируется амплитудным детектором, выходное напряжение которого повторяет по форме огибающую радиоимпульсов на выходе УПЧ. Это позволяет исследовать форму огибающей выходных радиоимпульсов УПЧ с помощью низкочастотного электронного осциллографа, подключаемого к выходу амплитудного детектора (гнездо $XS3$ макета). Для наблюдения переднего фронта огибающей радиоимпульсов в осциллографе используется режим внешней синхронизации развертки. С этой целью на вход “Внеш синх” осциллографа подаются импульсы синхронизации с дополнительного выхода “ $\approx$ ” ГИ, которые опережают по времени основные импульсы ГИ. Время задержки основных импульсов ГИ относительно импульсов синхронизации устанавливается с помощью регулировки “Временной сдвиг ms”, расположенной на передней панели ГИ.

Если переключатель $S1$ установлен в положение 1, то импульсы ГИ не поступают на амплитудный модулятор. При этом на выходе модулятора имеет место немодулированный высокочастотный гармонический сигнал, несущая частота и уровень которого определяются ГСС. Амплитудный детектор преобразует выходной сигнал УПЧ в постоянное напряжение, которое пропорционально амплитуде детектируемого сигнала и может быть измерено с помощью цифрового вольтметра постоянного напряжения, подключаемого к выходу $XS3$ макета. Это позволяет исследовать амплитудную и амплитудно-частотную характеристики УПЧ, не прибегая к использованию высокочастотного вольтметра.

1.4. Задание на лабораторную работу

Исследовать амплитудную и амплитудно-частотную характеристики УПЧ, определить полосу пропускания УПЧ и рассчитать его коэффициент шума. Исследовать зависимость формы огибающей радиоимпульсов на выходе УПЧ от длительности входных радиоимпульсов.

1.5. Подготовка лабораторной установки к работе

1.5.1. Ознакомиться с правилами выполнения лабораторных работ, приведенными во введении.

1.5.2. Собрать лабораторную установку (см. рис. 1.2). Для этого:

- подключить выход “ μV ” ГСС к входу XS1 макета;
- подключить выход “1 V” ГСС к входу цифрового частотомера;
- подключить выход “ $\neg$ ” генератора импульсов к входу XS2 макета;
- подключить выход XS3 макета к входу цифрового вольтметра.

1.5.3. Установить переключатель S1 макета в положение 1.

1.5.4. Установить переключатель вида модуляции ГСС в положение “Внеш мод”, а тумблеры, включающие напряжение на выходах “ μV ” и “1 V” ГСС, в положение “Вкл”.

1.5.5. Включить питание лабораторного макета, генератора стандартных сигналов, цифрового частотомера и цифрового вольтметра и прогреть их в течение 2...3 минут.

1.6. Измерение амплитудной характеристики УПЧ

1.6.1. Настроить ГСС на частоту $f \approx 30$ МГц и с помощью встроенных в него аттенюаторов установить на выходе ГСС немодулированное напряжение $U_{\text{вх}} = 100$ мкВ (см. приложение Б).

1.6.2. Плавно изменяя частоту ГСС, добиться максимального показания цифрового вольтметра, что свидетельствует о совпадении частоты выходного сигнала ГСС с частотой настройки УПЧ. По показаниям цифрового частотомера определить частоту выходного сигнала ГСС и записать его в протокол.

1.6.3. Тумблерами, расположенными на передней панели ГСС, отключить высокочастотное напряжение на его выходах “ μV ” и “1 V”. Следует иметь в виду, что при отсутствии высокочастотного сигнала на входе УПЧ его выходное напряжение не равно нулю, что обусловлено действием внутренних шумов УПЧ. Измерить цифровым вольтметром напряжение $U_{\text{ш вых}}$ на выходе XS3 макета и полученное значение занести в таблицу 1.1, как напряжение, соответствующее нулевому входному напряжению УПЧ.

1.6.4. Включить тумблером, расположенным на передней панели ГСС, высокочастотное напряжение на выходе “ μV ” и установить выходное напряжение ГСС, при котором напряжение на выходе XS3 макета будет вдвое превышать напряжение, обусловленное внутренним шумом УПЧ, $U_{\text{вых}} \approx 2U_{\text{ш вых}}$. Полученные данные занести в таблицу 1.1.

1.6.5. Изменяя выходное напряжение ГСС в диапазоне от начального значения до 1 мВ, измерить выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ макета и полученные данные занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 — Результаты измерения амплитудной характеристики УПЧ

Наименование параметра	Значение										
$U_{\text{ВХ}}$, мкВ											
$U_{\text{ВЫХ}}$, В											

1.6.6. Построить амплитудную характеристику УПЧ $U_{\text{ВЫХ}} = \Psi(U_{\text{ВХ}})$, выбрать на ней точку, соответствующую приблизительно середине линейного участка, и рассчитать резонансный коэффициент усиления УПЧ

$$K_0 = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}},$$

где $\Delta U_{\text{ВХ}}$, $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ — приращения входного и выходного напряжений в окрестности выбранной точки.

1.6.7. Рассчитать напряжение шума, приведенное к входу УПЧ,

$$U_{\text{Ш ВХ}} = \frac{U_{\text{Ш ВЫХ}}}{K_0}.$$

1.6.8. Рассчитать динамический диапазон линейного участка амплитудной характеристики

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{ВХ max}}}{U_{\text{ВХ min}}},$$

где $U_{\text{ВХ max}}$, $U_{\text{ВХ min}}$ — максимальное и минимальное значения входного напряжения, соответствующие границам линейного участка амплитудной характеристики.

1.6.10. Найденные значения K_0 , $U_{\text{Ш ВХ}}$ и D занести в протокол.

1.7. Измерение амплитудно-частотной характеристики УПЧ

1.7.1. Включить тумблером, расположенным на передней панели ГСС, высокочастотное напряжение на выходе “1 V” и установить выходное напряжение ГСС, соответствующее середине линейного участка амплитудной характеристики УПЧ (см. п. 1.6.6).

1.7.2. Плавно изменяя частоту ГСС в диапазоне от 28 до 32 МГц, измерить выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ макета при различных значениях частоты ГСС.

Полученные данные занести в таблицу 1.2.

Примечание.

Перед заполнением таблицы следует, перестраивая по частоте ГСС в указанном выше диапазоне, выявить приблизительный вид АЧХ, что позволит правильно выбрать число и положение точек отсчета исследуемой АЧХ. Отсчеты частоты ГСС производить по показаниям цифрового частотомера, а отсчеты выходного напряжения макета — по показаниям цифрового вольтметра.

Таблица 1.2 — Результаты измерения АЧХ при $U_{\text{ВХ}} = \dots \text{ мкВ}$

Наименование параметра	Значение									
f , МГц										
$U_{\text{ВЫХ}}$, В										
$K(f)$										

1.7.3. Полагая коэффициент передачи амплитудного детектора равным единице, рассчитать на каждой частоте коэффициент усиления УПЧ по формуле

$$K(f) \approx \frac{U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{Ш Вых}}}{U_{\text{ВХ}}}.$$

где $U_{\text{Ш Вых}}$ — напряжение шума на выходе УПЧ (см. п. 1.6.4).

1.7.4. Результаты расчета занести в таблицу 1.2 и, используя их, построить амплитудно-частотную характеристику УПЧ.

1.7.5. Плавно изменяя частоту ГСС, найти такие ее значения $f_1 < f_{\text{пр}}$ и $f_2 > f_{\text{пр}}$, при которых выходное напряжение УПЧ равно $U_{\text{ВЫХ}} = 0,7U_{\text{max}}$, где U_{max} — максимальное значение выходного напряжения УПЧ, найденное из таблицы 1.2. Рассчитать полосу пропускания УПЧ на уровне 0,7 по формуле

$$\Pi_{0,7} = f_2 - f_1,$$

а также среднюю частоту полосы пропускания $f_{\text{ср}} = (f_1 + f_2)/2$, и полученные значения занести в протокол.

1.7.6. Выполняя действия, аналогичные п. 1.7.5. найти частоты $f_3 < f_{\text{пр}}$ и $f_4 > f_{\text{пр}}$, при которых выходное напряжение УПЧ принимает значение $0,1U_{\text{max}}$. Рассчитать полосу пропускания УПЧ на уровне 0,1 по формуле

$$\Pi_{0,1} = f_4 - f_3$$

и полученное значение занести в протокол.

1.7.7. С учетом найденных значений $P_{0,7}$ и $P_{0,1}$ рассчитать коэффициент прямоугольности АЧХ по формуле (3.1) и коэффициента шума УПЧ по формуле (3.2), полагая $q_{\text{вых}} \approx 1$. Полученные значения занести в протокол.

1.8. Исследование зависимости формы огибающей выходного сигнала УПЧ от длительности входных радиоимпульсов

1.8.1. Установить на выходе ГСС напряжение, соответствующее середине линейного участка амплитудной характеристики УПЧ, найденной ранее (см. п. 1.7.3).

1.8.2. Плавно изменяя частоту ГСС, настроить его на среднюю частоту полосы пропускания УПЧ, найденную в п. 1.7.5.

1.8.3. Отсоединить выход макета XS3 от входа цифрового вольтметра и присоединить его к входу “→”) усилителя вертикального отклонения осциллографа. Вход внешней синхронизации осциллографа соединить с дополнительным выходом “ $\approx$ ” генератора импульсов. Переключатель S1 макета установить в положение 1.

1.8.4. Включить питание генератора импульсов и осциллографа и прогреть приборы в течение 2...3 минут.

1.8.5. Установить на выходе генератора импульсов периодическую последовательность импульсов отрицательной полярности, амплитудой 10 В, длительностью $\tau_{\text{и}} = 10$ мкс с периодом повторения $T_{\text{п}} = 100$ мкс. Установить задержку выходных импульсов генератора относительно его внутренних синхроимпульсов порядка 5...10 мкс.

1.8.6. С помощью органов управления осциллографа получить на его экране устойчивую осциллограмму наблюдаемого импульса, на которой длительность импульса соответствовала бы не менее трети размера экрана по горизонтали, а его амплитуда — не менее трети размера экрана по вертикали.

1.8.7. Изменяя длительность импульсов ГИ от 10 до 1 мкс, измерить по экрану осциллографа амплитуду U_m , время нарастания $\tau_{\text{н}}$ и время спада $\tau_{\text{с}}$ импульса на выходе макета. Полученные данные занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 — Зависимость параметров выходных импульсов УПЧ от длительности входного импульса

Наименование параметра	Значение					
	10	8	6	4	2	1
$\tau_{\text{и}}$, мкс						
U_m , В						
$\tau_{\text{н}}$, мкс						
$\tau_{\text{с}}$, мкс						

1.8.8. Зарисовать форму импульса на выходе макета при следующих длительностях импульсов на его входе: $\tau_{\text{и}} = 10$ мкс, $\tau_{\text{и}} = 4$ мкс и $\tau_{\text{и}} = 1$ мкс.

1.9. Содержание отчета

Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными во введении.

В отчете необходимо привести структурную схему лабораторной установки, таблицы с данными экспериментов и построенные по ним графики, результаты расчета, а также временные диаграммы выходного сигнала макета.

В выводах необходимо отметить особенности найденных характеристик УПЧ, указать причины, вызывающие изменение формы огибающей импульсов на выходе УПЧ при изменении длительности радиоимпульсов на его входе.

1.10. Вопросы для самоконтроля

1.10.1. Поясните назначение УПЧ супергетеродинного приемника и перечислите его основные характеристики.

1.10.2. Дайте определение амплитудной характеристики и динамического диапазона УПЧ.

1.10.3. Дайте определение АЧХ частотно-избирательной цепи и поясните, как определяется ее коэффициента прямоугольности.

1.10.4. Объясните причину возникновения внутренних шумов УПЧ.

1.10.5. Дайте определение коэффициента шума УПЧ и поясните, от чего он зависит.

1.10.6. Изобразите амплитудный спектр периодической последовательности радиоимпульсов с прямоугольной огибающей.

1.10.7. Поясните, как влияет полоса пропускания УПЧ на форму огибающей усиливаемых радиоимпульсов.

1.10.8. Назовите причина возникновения линейных и нелинейных искажений радиоимпульсов при их прохождении через УПЧ.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

2.1. Цель работы

Целью работы является исследование принципа действия и основных характеристик системы АРУ с обратным регулированием, которую в литературе обычно называют “обратная АРУ”.

2.2. Краткие теоретические сведения

В супергетеродинном приемнике АРУ предназначено для поддержания постоянства или малого изменения уровня напряжения на выходе УПЧ, при котором не перегружаются каскады приемника.

Обратная АРУ (рис. 2.1) представляет собой регулируемый усилитель РУ, охваченный цепью отрицательной обратной связи, состоящей из амплитудного детектора АД, фильтра нижних частот ФНЧ и усилителя постоянного тока УПТ. Если уровень выходного сигнала ФНЧ достаточно большой, то АРУ может работать без УПТ.

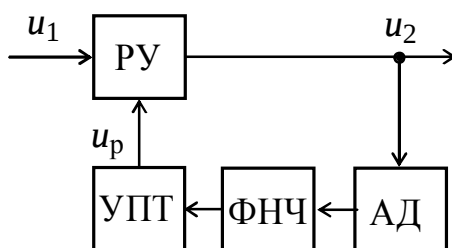


Рис. 2.1 — Структурная схема обратной АРУ

Следует отметить, что в качестве регулируемых каскадов используют как управляемые усилители, так и управляемые аттенюаторы. Чувствительным элементом системы АРУ является амплитудный детектор.

Если амплитуда напряжения U_{m2} на выходе регулируемого усилителя недостаточно для работы амплитудного детектора, то регулирующее напряжение u_p отсутствует и АРУ не работает. При этом коэффициент усиления регулируемого усилителя имеет максимальное значение K_{max} и не изменяется, а амплитуда напряжения U_{m2} изменяется пропорционально амплитуде напряжения U_{m1} . При увеличении амплитуды напряжения U_{m2} до уровня, при котором начинает работать амплитудный детектор, постоянная составляющая выходного напряжения детектора, пропорциональная амплитуде напряжения U_{m2} , выделяется ФНЧ, усиливается УПТ и в качестве регулирующего напряжения u_p подается на управляющий вход регулируемого усилителя. Полярность регулирующего напряжения u_p выбирают такой, чтобы увеличение амплитуды на-

пряжения U_{m2} вызывало уменьшение коэффициента усиления регулируемого усилителя и замедляло увеличение амплитуды напряжения U_{m2} . Таким образом, регулируемой величиной в обратной АРУ является амплитуда выходного сигнала.

На рис. 2.2 показана зависимость коэффициента усиления K регулируемого усилителя от регулирующего напряжения u_p , которую называют регулировочной характеристикой регулируемого усилителя.

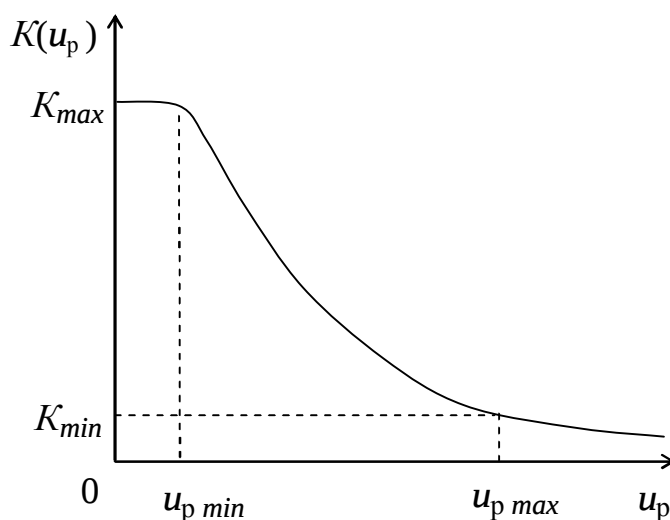


Рис. 2.2 — Регулировочная характеристика регулируемого усилителя

На рис. 2.3 изображены амплитудные характеристики нерегулируемого и регулируемого усилителей.

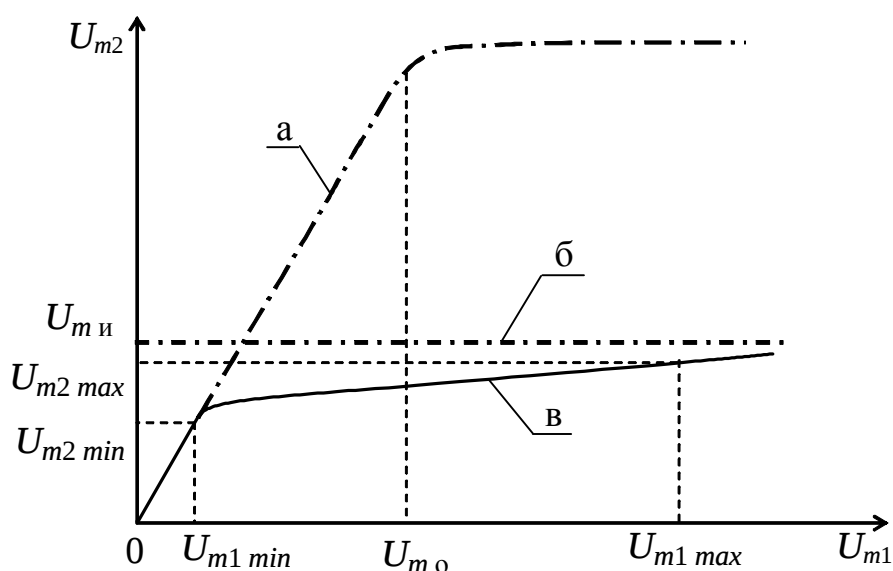


Рис. 2.3 — Амплитудные характеристики: нерегулируемого усилителя (а) и регулируемого усилителя с идеальной (б) и реальной (в) системами АРУ

При работе усилителя в линейном режиме с выключенной системой АРУ его амплитудная характеристика при $U_m < U_{m0}$ имеет вид прямой линии

(рис. 2.3, а). Если амплитуда входного напряжения превышает значение U_{mo} , то усилитель входит в режим ограничения амплитуды выходного напряжения и ее рост практически прекращается.

В идеальной системе АРУ амплитуда выходного напряжения должна быть постоянной $U_{mi} = const$ при любом значении амплитуды входного напряжения, неравном нулю. Поэтому амплитудная характеристика идеальной АРУ имеет вид линии (рис. 2.3, б), параллельной оси абсцисс. Однако такая АРУ нереализуема, поскольку для ее создания необходим чувствительный элемент, реагирующий на бесконечно малое изменение амплитуды напряжения U_{m2} .

Амплитудная характеристика реальной обратной АРУ имеет вид сглаженной ломаной линии (рис. 2.3, в). При малой амплитуде входного напряжения ($0 \leq U_{m1} \leq U_{m1min}$) амплитудная характеристика совпадает с амплитудной характеристикой нерегулируемого усилителя, что соответствует отсутствию регулирования (не работает амплитудный детектор). При амплитуде входного напряжения $U_{m1} > U_{m1min}$ начинает работать амплитудный детектор и по мере роста амплитуды входного напряжения крутизна амплитудной характеристики уменьшается, что обусловлено уменьшением коэффициента усиления регулируемого усилителя под действием регулирующего напряжения.

В процессе работы обратной АРУ амплитуда выходного напряжения U_{m2} изменяется в небольших пределах, поскольку в противном случае регулирующее напряжение u_p оставалось постоянным, что привело бы к прекращению регулирования. Поскольку в обратной АРУ всегда присутствует статическая ошибка регулирования, то такая система регулирования является статической.

В правильно спроектированной системе АРУ выполняется условие $D_2 \ll D_1$, где $D_1 = \lg \frac{U_{m1max}}{U_{m1min}}$ и $D_2 = \lg \frac{U_{m2max}}{U_{m2min}}$ — динамический диапазон входного и выходного напряжений соответственно.

При приеме амплитудно-модулированных сигналов граничную частоту $F_{гр}$ полосы пропускания ФНЧ (рис. 2.1) выбирают из условия $F_{гр} \ll F_{min}$, где F_{min} — минимальная частота модулирующего сигнала. В результате, АРУ не реагирует на “быстрые” изменения амплитуды усиливаемого сигнала, вызываемые полезной амплитудной модуляцией, и компенсирует только “медленные” изменения амплитуды этого сигнала, которые имеют место при изменении условий распространения радиоволн, перестройке приемника с одной станции на другую и т. п.

2.3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 2.4) состоит из лабораторного макета и комплекта радиоизмерительных приборов:

- генератор стандартных сигналов ГСС;
- милливольтметр переменного напряжения Мв;
- цифровой вольтметр ЦВ постоянного напряжения;

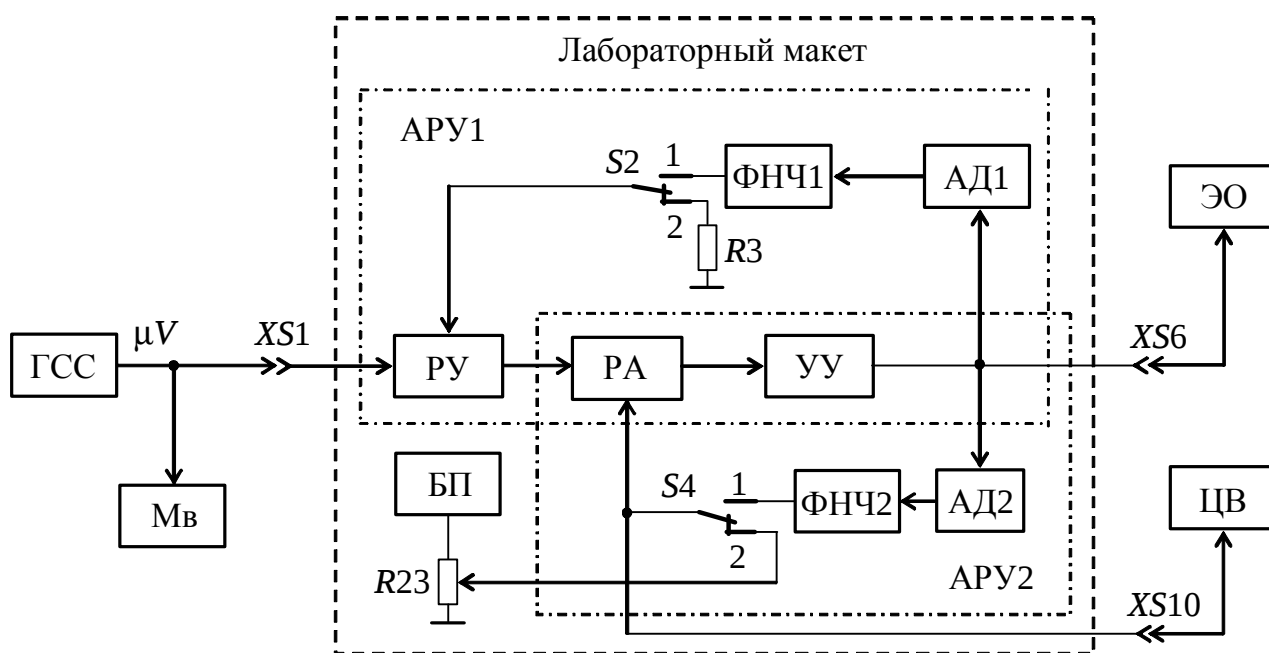


Рис. 2.4 — Структурная схема лабораторной установки для исследования системы АРУ

В состав лабораторного макета входят: регулируемый усилитель РУ, регулируемый аттенюатор РА, узкополосный усилитель УУ, амплитудные детекторы АД1, АД2, фильтры нижних частот ФНЧ1 и ФНЧ2, регулятор $R23$ управляющего напряжения и блок питания БП. Усилители РУ, УУ и аттенюатор РА образуют усилительный тракт. Макет позволяет включать по отдельности или одновременно две системы АРУ: АРУ1 и АРУ2, каждая из которых выделена на рис. 2.4. штрихпунктирной линией.

Если переключатель $S2$ установлен в положение 1, а переключатель $S4$ — в положение 2, то включена АРУ1, цепь обратной связи которой, состоящая из детектора АД1 и фильтра ФНЧ1, охватывает весь усилительный тракт. При этом в качестве регулируемого каскада используется усилитель РУ.

Если переключатель $S2$ установлен в положение 2, а переключатель $S4$ — в положение 1, то включается АРУ2, цепь обратной связи которой, состоящая из детектора АД2 и фильтра ФНЧ2, охватывает только часть усилительного тракта, состоящую из регулируемого аттенюатора РА, используемого в качестве регулируемого каскада, и узкополосного усилителя УУ.

Если оба переключателя $S2$ и $S4$ установлены в положение 1, то одновременно включаются обе системы АРУ.

Электрическая схема усилительного тракта макета изображена на рис. 2.5. Регулируемый усилитель выполнен на транзисторе $VT1$ по схеме с общим эмиттером. Резисторы $R1$, $R2$ и $R3$ образуют базовый делитель напряжения, который обеспечивает необходимое постоянное напряжение на базе транзистора $VT1$.

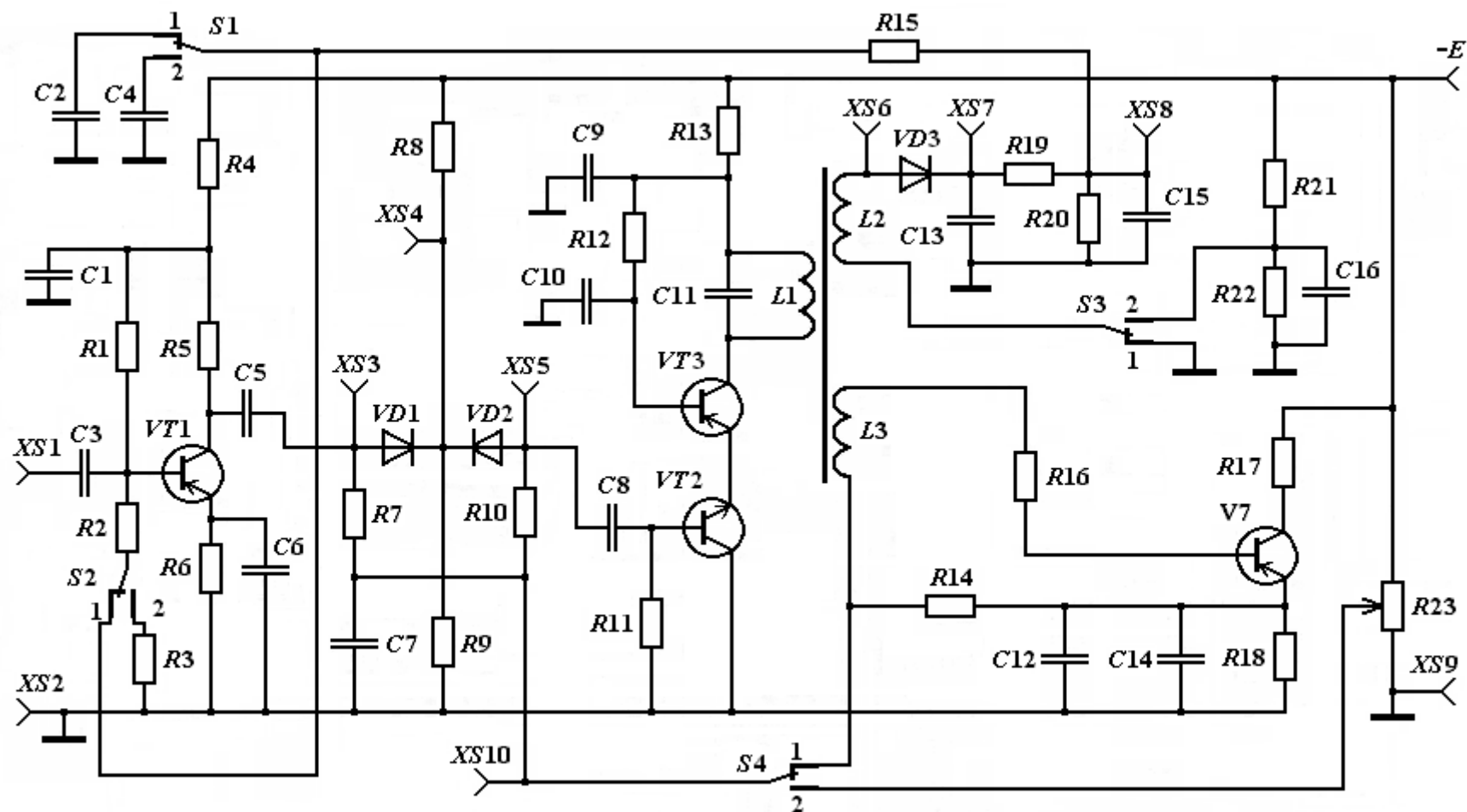


Рис. 2.5 — Схема усилительного тракта лабораторного макета системы обратной АРУ

Резистор $R6$ задает эмиттерный ток транзистора $VT1$ и обеспечивает температурную стабилизацию его режима работы по постоянному току. Конденсатор $C6$ устраняет отрицательную обратную связь по переменному току, обусловленную влиянием резистора $R6$. Коллекторной нагрузкой транзистора $VT1$ является резистор $R5$. Резистор $R4$ и конденсатор $C1$ образует фильтр цепи питания.

Высокочастотное входное напряжение с гнезда $XS1$ через разделительный конденсатор $C3$ подается на первый усилительный каскад, собранный на транзисторе $VT1$. Переменная составляющая выходного напряжения этого каскада поступает через разделительный конденсатор $C5$ на регулируемый аттенюатор, выполненный на диодах $VD1$, $VD2$ и резисторах $R7 \dots R10$.

Делитель напряжения $R8$, $R9$ задает отрицательное напряжение на катодах диодов $VD1$, $VD2$, под действием которого диоды отпираются. Напряжение, регулирующее ослабление аттенюатора, поступает на аноды диодов $VD1$, $VD2$ с потенциометра $R23$ через переключатель $S4$ и резисторы $R7$, $R10$. При отсутствии регулирующего напряжения внутреннее сопротивление диодов имеет минимальное, а коэффициент передачи аттенюатора — максимальное значение. Появление отрицательного регулирующего напряжения вызывает уменьшение отпирающего напряжения на диодах. В результате, внутреннее сопротивление диодов увеличивается и коэффициента передачи аттенюатора уменьшается. При достаточно большом регулирующем напряжении, диоды $VD1$, $VD2$ запираются, после чего аттенюатор становится неуправляемым, а его коэффициент передачи — минимальным и постоянным.

Для уменьшения нелинейных искажений высокочастотного напряжения, вызываемых аттенюатором, амплитуда этого напряжения должна быть много меньше прямого падения напряжения на диодах $VD1$, $VD2$. Встречное включение диодов $VD1$, $VD2$ уменьшает уровень этих искажений, поскольку независимо от полярности полуволны высокочастотного напряжения сопротивление одного из диодов увеличивается, а сопротивление другого уменьшается. Чем меньше амплитуда регулируемого напряжения, тем меньше уровень нелинейных искажений, вносимых аттенюатором.

Выходное высокочастотное напряжение регулируемого аттенюатора поступает через разделительный конденсатор $C8$ на вход узкополосного усилителя, собранного на транзисторах $VT2$, $VT3$ по схеме с непосредственной связью между каскадами по постоянному току. Резисторы $R11$, $R12$ задают базовые токи транзисторов. Транзистор $VT2$ $n-p-n$ типа включен по схеме с общим коллектором и представляет собой эмиттерный повторитель. Транзистор $VT3$ типа $p-n-p$ включен по схеме с общей базой и обеспечивает усиление сигнала по напряжению. Конденсатор $C10$ заземляет базу транзистора $VT3$ по переменному току. Коллекторной нагрузкой транзистора $VT3$ является параллельный колебательный контур $C11$, $L1$, настроенный на частоту $f_0 \approx 465$ кГц. Контурная катушка индуктивности $L1$ индуктивно связана с катушками индуктивности $L2$, $L3$. Резистор $R13$ и конденсатор $C9$ образуют фильтр цепи питания.

Катушка индуктивности $L2$ нагружена на диодный амплитудный детектор, собранный на диоде $VD3$, резисторах $R19$, $R20$ и конденсаторах $C13$, $C15$. Входной сигнал диодного детектора подается на гнездо $XS6$, а выходной — на гнезда $XS7$ и $XS8$.

Переключатель $S3$ позволяет подавать на анод диода $VD3$ отрицательное напряжение задержки, снимаемое с делителя напряжения $R21$, $R22$. Указанное напряжение запирает диод $VD3$, при отсутствии детектируемого сигнала. Поэтому АРУ1 начинает работать “с задержкой”, т. е. только тогда, когда амплитуда детектируемого сигнала превысит напряжение задержки на величину, достаточную для отпираания диода $VD3$.

Выходное напряжение диодного детектора имеет положительную полярность и используется в качестве регулирующего напряжения АРУ1, которое подается через переключатель $S2$ в базовую цепь транзистора $VT1$. Изменение регулирующего напряжения вызывает изменение эмиттерного тока транзистор $VT1$, что, в свою очередь, приводит к изменению крутизны транзистора и коэффициента усиления каскада, собранного на этом транзисторе. Переключатель $S1$ позволяет изменять постоянную времени фильтра нижних частот $R15$, $C2$, $C4$ в цепи обратной связи АРУ1.

Катушка индуктивности $L3$ нагружена на транзисторный амплитудный детектор, который выполнен на транзисторе $VT4$, включенном по схеме с общим коллектором. Нагрузкой транзисторного детектора является резистор $R18$, включенный в эмиттерную цепь транзистора. Резисторы $R14$, $R16$, $R17$ обеспечивают требуемый режим работы детектора. Элементы $R14$, $R18$, $C7$, $C12$, $C14$, образуют фильтр нижних частот, выходное напряжение которого отрицательной полярности используется в качестве регулирующего напряжения АРУ2. Если переключатель $S4$ установлен в положении 1, то это напряжение подается на управляющий вход регулируемого аттенюатора. Если переключатель $S4$ установлен в положении 2, то обратная АРУ2 отключена. При этом на управляющий вход регулируемого аттенюатора подается напряжение с потенциометра $R23$, что позволяет исследовать регулировочную характеристику аттенюатора.

Питание макета осуществляется отрицательным напряжением $-E$, которое вырабатывает блок питания, встроенный в лабораторный макет.

2.4. Задание на лабораторную работу

Исследовать регулировочную характеристику управляемого диодного аттенюатора, а также амплитудные характеристики усилительного тракта с отключенными и включенными системами АРУ при усилении немодулированного и амплитудно-модулированного сигналов.

2.5. Подготовка лабораторной установки к работе

2.5.1. Ознакомиться с правилами выполнения лабораторных работ, приведенными во введении.

2.5.2. Собрать лабораторную установку (рис. 2.4). Для этого:

- подключить выход “ μV ” ГСС к входам усилительного тракта (гнездо XS1) и милливольтметра;
- подключить вход цифрового вольтметра постоянного напряжения к выходу регулируемого аттенюатора (гнездо XS5);
- подключить выход узкополосного усилителя (гнездо XS6) к входу усилителя вертикального отклонения осциллографа.

2.5.3. Установить переключатель вида модуляции ГСС в положение “**Внеш мод**”, соответствующее режиму внешней амплитудной модуляции.

2.5.4. Включить тумблером “**Сеть**” питание макета. Включить измерительные приборы и прогреть их в течение 2...3 минут.

2.6. Измерение регулировочной характеристики диодного аттенюатора

2.6.1. Выключить обе системы АРУ, для чего установить переключатели S1, S3 в положение 1, а переключатели S2, S4 — в положение 2. Повернуть ручку потенциометра R23 против часовой стрелки в крайнее положение.

2.6.2. Настроить ГСС на частоту $f \approx 465$ кГц. Регулируя выходное напряжение ГСС с помощью встроенных аттенюаторов (см. приложение Б), установить на входе макета напряжение порядка 10 мВ по показаниям милливольтметра.

2.6.3. Плавно перестраивая частоту ГСС, добиться максимума амплитуды выходного напряжения узкополосного усилителя, наблюдая это напряжение на экране осциллографа (настройка в резонанс).

2.6.4. Изменяя с помощью потенциометра R23 регулирующее напряжение U_p аттенюатора, измерить его входное (гнездо XS3) и выходное (гнезду XS5) напряжения при различных значениях напряжения U_p . Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 — Результаты измерения регулировочной характеристики управляемого аттенюатора

Наименование параметра	Значение									
$U_{\text{ВХ}}$, мкВ										
$U_{\text{ВЫХ}}$, мВ										
K_a										
U_p , мВ										

2.6.5. Рассчитать коэффициент передачи аттенюатора по формуле

$$K_a = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}.$$

Результаты расчета занести в таблицу 2.1.

2.7. Измерение амплитудной характеристики усилительного тракта с выключенными системами АРУ

2.7.1. Подключить милливольтметр к выходу узкополосного усилителя (гнездо XS6). Повернуть ручку потенциометра R23 против часовой стрелки в крайнее положение.

2.7.2. Изменяя выходное напряжение ГСС от 1 до 100 мВ, измерить выходное напряжение узкополосного усилителя. При этом значения выходного напряжения ГСС определять по положению ручек его внутренних аттенюаторов (см. Приложение Б). Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 — Результаты измерения амплитудной характеристики усилительного тракта с выключенными системами АРУ

Наименование параметра	Значение								
$U_{\text{ВХ}}$, мкВ									
$U_{\text{ВЫХ}}$, мВ									
$U_{m\text{ВХ}}$, мкВ									
$U_{m\text{ВЫХ}}$, мВ									

2.7.3. По полученным данным рассчитать амплитудные значения входного $U_{m\text{ВХ}} = \sqrt{2}U_{\text{ВХ}}$ и выходного $U_{m\text{ВЫХ}} = \sqrt{2}U_{\text{ВЫХ}}$ напряжений и построить амплитудную характеристику

2.8. Измерение амплитудной характеристики усилительного тракта с включенной системой АРУ1 без задержки

2.8.1. Установить переключатель S2 в положение 1, не изменяя положение других органов управления макетом. Подключить милливольтметра к выходу узкополосного усилителя (гнездо XS6).

2.8.2. Повторить действия по п. 2.7.2 и занести результаты измерений в таблицу 4.3.

2.8.3. Используя полученные данные, рассчитать амплитудные значения входного $U_{m\text{ВХ}} = \sqrt{2}U_{\text{ВХ}}$ и выходного $U_{m\text{ВЫХ}} = \sqrt{2}U_{\text{ВЫХ}}$ напряжений и занести их в таблицу 2.3. Построить амплитудную характеристику.

Таблица 2.3 — Результаты измерения амплитудной характеристики УПЧ с включенной системой АРУ1 без задержки

Наименование параметра	Значение								
U_{BX} , мкВ									
$U_{\text{ВЫХ}}$, мВ									
$U_{m\text{BX}}$, мкВ									
$U_{m\text{ВЫХ}}$, мВ									

2.9. Измерение амплитудной характеристики усилительного тракта с включенной системой АРУ1 с задержкой

2.9.1. Установить переключатель $S2$ в положении 1, а переключатель $S3$ в положение 2, не изменяя положение других органов управления макетом.

2.9.2. Повторить действия по п. п. 2.8.2, 2.8.3 и занести полученные результаты в таблицу, аналогичную таблице 2.3.

2.10. Измерение амплитудной характеристики усилительного тракта с двумя включенными системами АРУ

2.10.1. Установить переключатели $S2$, $S3$, $S4$ в положение 1.

2.10.2. Повторить действия по п. п. 2.8.2, 2.8.3 и занести полученные результаты в таблицу, аналогичную таблице 2.3.

2.11. Исследование режима усиления амплитудно-модулированного сигнала с двумя включенными системами АРУ

4.11.1. Установить переключатель режима модуляции ГСС в положение “Внутр”, соответствующее внутренней амплитудной модуляции с частотой 1 кГц. Регулятор глубины модуляции установить в положение, соответствующее коэффициенту амплитудной модуляции 30%. С помощью аттенуаторов, встроенных в ГСС, установить на его выходе высокочастотное напряжение 1 мВ. Плавно перестраивая частоту ГСС, добиться максимального значения выходного напряжения узкополосного усилителя, что свидетельствует о совпадении частоты ГСС с резонансной частотой усилителя.

2.11.2. Подключить осциллограф сначала к гнезду $XS6$, а затем к гнезду $XS8$ и зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений диодного амплитудного детектора.

2.11.3. По осциллограмме входного напряжения диодного амплитудного детектора определить максимальное $U_{m\text{max}}$ и минимальное $U_{m\text{min}}$ значения амплитуды высокочастотного напряжения и рассчитать коэффициент амплитудной модуляции этого напряжения в процентах по формуле

$$M = 100 \frac{U_{m\text{max}} - U_{m\text{min}}}{U_{m\text{max}} + U_{m\text{min}}}.$$

2.11.4. Установить на входе макета напряжение 10 мВ и повторить действия по п. п. 2.11.2, 2.11.3.

2.11.5. Сравнить значение коэффициента амплитудной модуляции, найденное в п. 2.11.3, с коэффициентом модуляции, установленным в ГСС.

2.12. Содержание отчета

Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в разделе 2.

Необходимо построить все исследованные характеристики и осциллограммы напряжений.

В выводах необходимо пояснить причины, вызывающие ограничение динамического диапазона работы системы АРУ. Выполнить сравнительный анализ измеренных амплитудных характеристик усилительного тракта.

2.13. Вопросы для самоконтроля

2.13.1. Поясните назначение и области применения систем АРУ.

2.13.2. Составьте структурную схему и поясните принцип действия обратной АРУ.

2.13.3. Дайте определения амплитудной и амплитудно-частотной характеристик усилителя и поясните методы их измерения.

2.13.4. Поясните, от чего зависят динамический диапазон и быстродействие обратной АРУ.

2.13.5. Нарисуйте схему транзисторного усилительного каскада и поясните возможные способы регулирования его коэффициента усиления.

2.13.6. Нарисуйте схему диодного управляемого аттенюатора и поясните принцип его действия.

2.13.7. Нарисуйте схемы и поясните принцип действия диодного и транзисторного амплитудных детекторов.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

3.1. Цель лабораторной работы

Целью работы является исследование основных характеристик системы подавление импульсных помех.

3.2. Краткие теоретические сведения

Помехоустойчивостью приемника называется его способность восстанавливать сообщение из смеси полезного сигнала и помехи, принятой приемником. При этом помехой считается любой сигнал, вызывающий искажения принятого сообщения.

Все методы повышения помехоустойчивости радиоприема основаны на использовании признаков, по которым полезный сигнал отличается от помехи (частота, длительность, уровень, форма, время появления и т. п.). Ряд методов повышения помехоустойчивости основан на искусственном внесении в сигнал дополнительных отличительных признаков (кодирование, предискажения, специальные виды модуляции и т. п.)

При разработке методов борьбы с помехами возникает вопрос: “Можно ли, совершенствуя приемник, беспредельно повышать его помехоустойчивость?”. В теории передачи сигналов показано, что в случае флуктуационной помехи указанным путем можно достичь только предельной помехоустойчивости, которую называют потенциальной. Это означает, что при приеме смеси сигнала с флуктуационной помехой всегда будет иметь место некоторое искажение сообщения. В случае импульсной помехи теоретического предела повышения помехоустойчивости приемника не существует.

При одновременном воздействии на приемник различных помех, методы обработки сигнала, оптимальные для подавления одного вида помехи, могут вызвать увеличение уровня другого ее вида. Например, при приеме смеси сигнала и импульсной помехи практически всегда присутствуют внутренние шумы приемника, являющиеся флуктуационной помехой. В этом случае обработка, предназначенная для подавления импульсной помехи, может вызвать увеличение флуктуационной помехи.

Одним из устройств подавления импульсной помехи является система ШОУ (рис. 3.1).

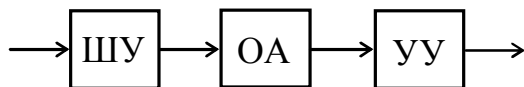


Рис. 3.1 — Структурная схема системы ШОУ

Система ШОУ состоит из трех последовательно включенных блоков: широкополосного усилителя ШУ, ограничителя амплитуды ОА, узкополосного

усилителя УУ. Название системы составлено из первых букв наименований перечисленных выше блоков.

Система ШОУ наиболее эффективна при приеме импульсных сигналов в присутствии импульсов помехи, длительность которых $T_{\Pi} \ll T_c$, где T_c — длительность импульсов сигнала, а амплитуда $U_{m\Pi} \gg U_{mc}$, где U_{mc} — амплитуда импульсов сигнала. В этом случае на входе системы ШОУ ширина спектра и динамический диапазон помехи существенно превышают ширину спектра и динамический диапазон полезного сигнала. Поскольку полосу пропускания и динамический диапазон широкополосного усилителя выбирают, исходя из параметров помехи, то широкополосный усилитель одинаково усиливает сигнал и помеху, не изменяя их форму.

Коэффициент усиления широкополосного усилителя и уровень ограничения амплитудного ограничителя выбирают так, чтобы уровень полезного сигнала на входе ограничителя был немного меньше уровня ограничения. При выполнении указанного условия ограничитель ограничивает помеху на уровне, близком к уровню сигнала, и не ограничивает полезный сигнал. В результате, на выходе ограничителя отношение сигнал/помеха будет близко к единице $q_{OA} \approx 1$.

Полосу пропускания $P_{yу}$ узкополосного усилителя выбирают, исходя из ширины спектра полезного сигнала, т. е. $P_{yу} \ll P_{шy}$, где $P_{шy}$ — полоса пропускания широкополосного усилителя. Поэтому узкополосный усилитель усиливает все составляющие спектра сигнала и только часть составляющих спектра помехи, попавших в его полосу пропускания.

В результате, система ШОУ обеспечивает выигрыш в отношении сигнал/помеха, который в первом приближении определяется по формуле

$$B = \frac{q_{\text{ВЫХ}}}{q_{\text{ВХ}}} \approx \frac{P_{\text{ШУ}}}{q_{\text{ВХ}} P_{\text{УУ}}}. \quad (3.1)$$

где $q_{\text{ВХ}}$, $q_{\text{ВЫХ}}$ — отношение сигнал/помеха на входе и выходе системы ШОУ соответственно.

Из (3.1) следует, что для повышения эффективности системы ШОУ необходимо увеличивать $P_{\text{ШУ}}$ и уменьшать $P_{\text{УУ}}$. Однако увеличение $P_{\text{ШУ}}$ ведет к увеличению уровня флуктуационной помехи на входе ограничителя амплитуды, который усиливает и ограничивает ее вместе с полезным сигналом, а уменьшение $P_{\text{УУ}}$ требует увеличения длительности импульсов сигнала, что уменьшает быстродействие системы передачи информации. Перечисленные недостатки является ценой повышения помехоустойчивости системы ШОУ.

3.3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 3.2) состоит из лабораторного макета и комплекта радиоизмерительных приборов:

— генератор стандартных сигналов ГСС;

- цифровой частотомер ЦЧ;
- милливольтметр переменного напряжения Мв;
- двухлучевой электронный осциллограф ЭО;
- блок питания БП.

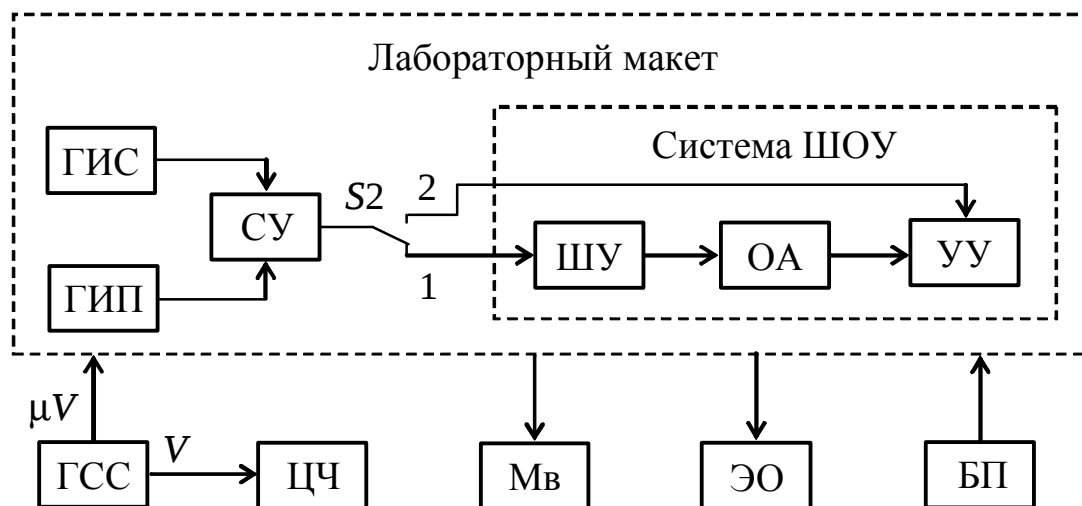


Рис. 3.2 — Структурная схема лабораторной установки для исследования системы ШОУ

Лабораторный макет состоит из генератора импульсов сигнала ГИС, генератора импульсов помехи ГИП, суммирующего устройства СУ и собственно системы ШОУ, образованной широкополосным усилителем ШУ, ограничителем амплитуды ОА и узкополосным усилителем УУ. Питание макета осуществляется от внешнего блока питания БП.

Генератор ГИС вырабатывает прямоугольные радиоимпульсы, имитирующие полезный сигнал $u_c(t)$. Несущая частота радиоимпульсов равна $f_0 \approx 1,2$ МГц. В генераторе радиоимпульсов предусмотрена возможность регулировки амплитуды и длительности и частоты повторения радиоимпульсов.

Генератор ГИП вырабатывает прямоугольные видеоимпульсы, имитирующие помеху $u_n(t)$. В генераторе помехи предусмотрена возможность регулировки амплитуды, полярности и времени задержки видеоимпульсов помехи относительно радиоимпульсов сигнала.

Суммирующее устройство СУ суммирует импульсы сигнала и помехи. Выходной сигнал СУ $u_c(t) + u_n(t)$ подается на вход системы ШОУ.

Электрическая схема системы ШОУ изображена на рис. 3.3. Широкополосный усилитель состоит из двух усилительных каскадов. Первый каскад выполнен на транзисторе VT1 по схеме с общим эмиттером и обеспечивает усиление полезного сигнала до уровня, приблизительно равного порогу ограничения ограничителя амплитуды. Второй каскад выполнен на транзисторе VT2 по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель) и обеспечивает согласование широкополосного усилителя с ограничителем амплитуды.

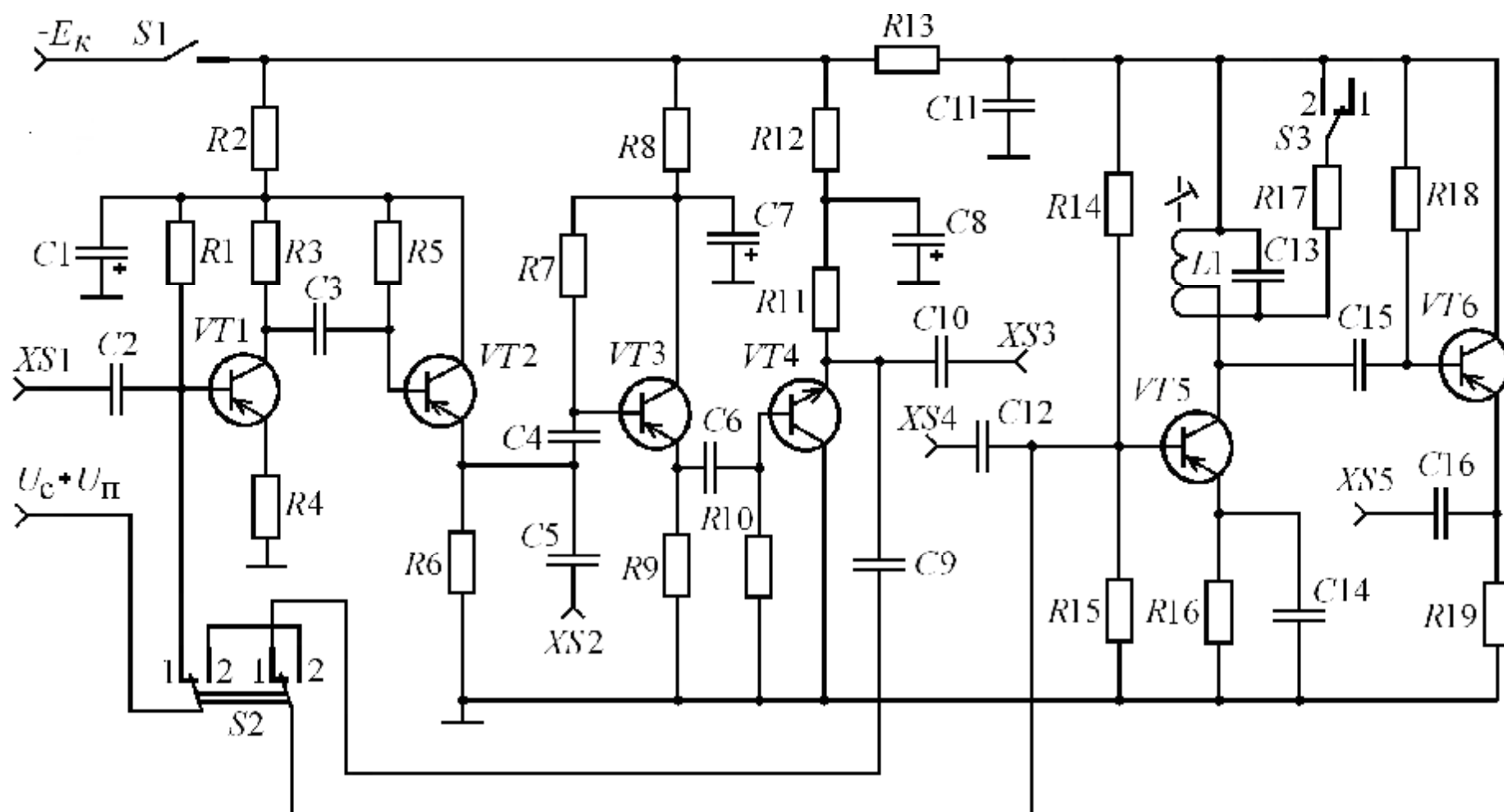


Рис. 3.3 — Электрическая схема лабораторного макета системы ШОУ

Ограничитель амплитуды, выполненный на транзисторах $VT3$, $VT4$ разного типа проводимости, обеспечивает двухполярное ограничение сигнала. Пороги ограничения ограничителя амплитуды определяются напряжениями $U_{кз}$ транзисторов $VT3, VT4$, которые устанавливаются путем выбора режима работы этих транзисторов по постоянному току.

Узкополосный усилитель собран на транзисторе $VT5$ по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой каскада является колебательный контур $L1, C13$, настроенный на несущую частоту радиоимпульсов, используемых в качестве полезного сигнала. Переключатель $S3$ позволяет подключать резистор $R17$ параллельно контуру $L1, C13$, что позволяет расширять полосу пропускания узкополосного усилителя. Эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе $VT6$, является буферным каскадом, который предназначен для уменьшения влияния измерительных приборов, подключаемых к макету, на работу узкополосного усилителя.

С помощью переключателя $S2$ импульсы полезного сигнала и импульсы помехи можно подавать на вход широкополосного или узкополосного усилителей. Для измерения напряжений на входе и выходе блоков, образующих систему ШОУ, на передней панели макета установлены гнезда $XS1 \dots XS5$, соединенные с соответствующими контрольными точками макета.

3.4. Задание на лабораторную работу

Исследовать АЧХ широкополосного и узкополосного усилителей, а также амплитудные характеристики широкополосного усилителя и ограничителя амплитуды. Снять осциллограммы напряжений системы ШОУ и оценить выигрыш в отношении сигнал/помеха, обеспечиваемый этой системой.

3.5. Подготовка лабораторной установки к работе

3.5.1. Ознакомиться с правилами выполнения лабораторных работ, приведенными во введении.

3.5.2. Собрать лабораторную установку (рис. 3.2). Для этого:

— подключить выход “ μV ” ГСС к входу макета (гнездо $XS1$) и входу милливольтметра;

— подключить выход “1 V” ГСС к входу цифрового частотомера.

3.5.3. Установить переключатели, расположенные на передней панели макета, в следующие положения: переключатели $S2$ и $S3$ в положение “1”, переключатели ГИС и ГИП в положение “**Выкл**”.

3.5.4. Установить переключатель режима модуляции ГСС в положение “**Внеш**”, соответствующее внешней амплитудной модуляции, а переключатель частотных диапазонов — в положение “**0,1 — 3 МГц**”.

3.5.5. Включить блок питания и переключателем $S1$ включить питание макета.

3.5.6. Включить измерительные приборы и прогреть их в течение 2...3 минут.

3.6. Измерение амплитудно-частотной характеристики широкополосного усилителя

3.6.1. Настроить ГСС на частоту 100 кГц и установить на его выходе напряжение $U_{\text{вх}} = 50$ мВ, проконтролировав его уровень с помощью милливольтметра. Затем подключить милливольтметр к выходу широкополосного усилителя (гнездо XS2).

3.6.2. Изменяя частоту ГСС от 100 кГц до 3 МГц и контролируя ее значение по показаниям цифрового частотомера, измерить выходное напряжение широкополосного усилителя не менее чем при десяти значениях частоты, позволяющих выявить форму АЧХ. Результаты измерения занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 — Результаты измерения АЧХ широкополосного усилителя при $U_{\text{вх}} = 50$ мВ

Наименование параметра	Значение									
f , МГц										
$U_{\text{вых}}$, мВ										
K										

3.6.3. Используя полученные данные (таблица 3.1), рассчитать на каждой частоте модуль коэффициента передачи $K = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$ широкополосного усилителя и занести результаты расчета в таблицу 3.1.

3.6.4. Построить АЧХ широкополосного усилителя, определить его полосу пропускания $\Pi_{0,7}$ на уровне $1/\sqrt{2} \approx 0,707$, а также среднюю частоту $f_{0\text{шу}}$ полосы пропускания.

3.7. Определение полосы пропускания узкополосного усилителя

3.7.1. Установить переключатели S2 в положение 2. При этом входной сигнал поступает на вход узкополосного усилителя, минуя широкополосный усилитель и ограничитель амплитуды.

3.7.2. Установить на выходе μV ГСС напряжение $U = 30$ мВ, проконтролировав его с помощью милливольтметра. Затем подключить милливольтметр к выходу узкополосного усилителя (гнездо XS5).

3.7.3. Перестраивая по частоте ГСС от 0,1 МГц до 3 МГц, найти резонансную частоту $f_{\text{руу}}$ узкополосного усилителя, при которой выходное напряжение усилителя достигает максимального значения U_{max} .

3.7.4. Плавное изменение частоты ГСС, найти такие ее значения $f_1 < f_{\text{руу}}$ и $f_2 > f_{\text{руу}}$, при которых выходное напряжение узкополосного усилителя равно $U_{\text{вых}} = 0,7U_{\text{max}}$, где U_{max} — максимальное значение выходного напряжения усилителя, найденное в п. 3.7.3. Рассчитать полосу пропускания усилителя на уровне 0,7 по формуле

$$\Pi_{0,7} = f_2 - f_1.$$

3.7.5. Установить переключатель $S3$ в положение 2, соответствующее включению сопротивления $R17$, шунтирующего колебательный контур $L1, C13$, и определить полосу пропускания на уровне 0,7 узкополосного усилителя, выполнив действия по п. 3.7.4. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 — Результаты измерения полосы пропускания узкополосного

Наименование параметра	Положение переключателя $S3$	
	1	2
$\Pi_{0,7}$, кГц		

3.8. Измерение амплитудной характеристики широкополосного усилителя и ограничителя амплитуды

3.8.1. Установить переключатели $S2$ и $S3$ в положение 1.

3.8.2. Подключить милливольтметр к выходу ограничителя амплитуды (гнездо $XS3$).

3.8.3. Установить частоту выходного напряжения ГСС равной резонансной частоте $f_{руу}$ узкополосного усилителя, найденной при выполнении п. 3.7.3.

3.8.4. Изменяя выходное напряжение ГСС от 3 до 100 мВ, измерить выходное напряжение U_{OA} ограничителя амплитуды. Результаты измерений занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 — Результаты измерения амплитудной характеристики широкополосного усилителя и ограничителя амплитуды

Наименование параметра	Значение									
U_{BX} , мВ										
U_{OA} , мВ										
U_{mBX} , мВ										
U_{mOA} , мВ										

3.8.5. Рассчитать амплитуду измеренных напряжений по формулам: $U_{mBX} = \sqrt{2}U_{BX}$, $U_{mOA} = \sqrt{2}U_{OA}$ и результаты расчета занести в таблицу 3.3.

3.8.6. По окончании измерений выключить ГСС и милливольтметр и отсоединить их от лабораторного макета.

3.9. Исследование системы ШОУ при совместном воздействии на нее полезного сигнала и помехи

3.9.1. Включить генераторы импульсов сигнала и импульсов помехи, установив переключатели ГИС и ГИП в положение “Вкл”.

3.9.2. Подключить вход первого канала вертикального отклонения осциллографа к входу широкополосного усилителя (гнездо $XS1$) и добиться устойчивой синхронизации развертки осциллографа от сигнала этого канала, при которой на экране осциллографа наблюдается один период повторения импульсов сигнала и помехи. Зарисовать наблюдаемую осциллограмму напряжения.

3.9.3. Последовательно подключая вход второго канала осциллографа к выходам широкополосного усилителя (гнездо $XS2$), ограничителя амплитуды (гнездо $XS3$) и узкополосного усилителя (гнездо $XS5$), зарисовать осциллограммы прохождения полезного сигнала и помехи в указанных контрольных точках макета. Используя масштабную сетку, расположенную на экране осциллографа, определить значения амплитуды импульсов сигнала и импульса помехи на входе и выходе каждого из блоков системы ШОУ. Полученные значения амплитуд импульсов сигнала и помехи занести в протокол.

3.9.3. Используя полученные значения амплитуд импульсов сигнала и помехи рассчитать:

— коэффициент передачи каждого из каскадов системы ШОУ для полезного сигнала K_c и помехи K_{Π} ;

— отношение сигнал/помеха на входе и выходе каждого из каскадов системы ШОУ.

Результаты расчета занести в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 — Результаты измерения выигрыша системы ШОУ

Наименование каскада	Наименование параметра			
	K_c	K_{Π}	$(C/\Pi)_{\text{вх}}$	$(C/\Pi)_{\text{вых}}$
Широкополосный усилитель				
Ограничитель амплитуды				
Узкополосный усилитель				

3.9.4. Рассчитать выигрыш в отношении сигнал/помеха, обеспечиваемый системой ШОУ, по формуле (5.1). Результаты расчета занести в протокол.

3.9.5. Установить переключатель $S3$ в положение 2 и повторить действия и расчеты по п. п. 3.9.2, 3.9.3.

3.9.6. Установить переключатель $S3$ в положение 1, а переключатель $S2$ в положение 2, при котором импульсы сигнала и помехи подаются непосредственно на вход узкополосного усилителя. Снять осциллограммы напряжений на входе и выходе узкополосного усилителя и по полученным осциллограммам определить отношение (C/Π) на его входе и выходе. Результаты расчета занести в протокол.

3.10. Содержание отчета

Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными во введении.

По амплитудной характеристике широкополосного усилителя и ограничителя определить порог ограничения ограничителя амплитуды.

Необходимо привести рисунки исследованных осциллограмм напряжения, а также результаты всех выполненных расчетов.

В выводах необходимо отметить особенности исследованных характеристик системы ШОУ и ее блоков. Следует сравнить резонансную частоту узкополосного усилителя со средней частотой полосы пропускания широкополосного усилителя. Необходимо для каждого из блоков системы ШОУ и системы в целом оценить возможности увеличения отношения сигнал/помеха и указать причины, ограничивающие эти возможности.

3.11. Контрольные вопросы

3.11.1. Сформулируйте определения флуктуационной и импульсной помех.

3.11.2. Изобразите структурную схему системы ШОУ и поясните принцип ее действия.

3.11.3. Из каких соображений выбирают полосы пропускания широкополосного и узкополосного усилителей системы ШОУ?

3.11.4. Поясните, для подавления каких помех используют ограничение сигнала по максимуму и ограничение сигнала по минимуму.

3.11.5. Из каких соображений выбирают порог ограничения амплитудного ограничителя системы ШОУ?

3.11.6. Поясните, как оценивается выигрыш в отношении сигнал—помеха, который обеспечивают блоки системы ШОУ, и от чего он зависит.

3.11.7. При каком соотношении длительностей импульсов сигнала и помехи система ШОУ обеспечивает выигрыш в отношении сигнал—помеха?

3.11.8. В каких радиотехнических системах находит применение система ШОУ?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗНОГО ПРИЕМНИКА

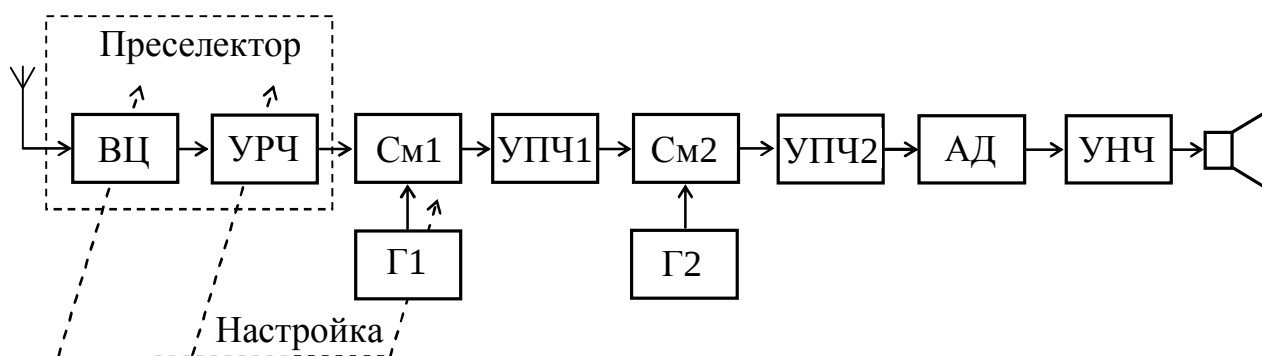
4.1. Цель лабораторной работы

Цель работы: исследование принципов построения и основных технических характеристик связного приемника.

4.2. Краткие теоретические сведения

Связными называют профессиональные приемники, предназначенные для эксплуатации в системах радиосвязи и обеспечивающие слуховой приём телефонных и телеграфных сигналов, а также автоматического приема сигналов телеметрии, телеуправления, факсимиле и т. п.

Связные приемники, как правило, строятся по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты (рис. 4.1).



ВЦ — входная цепь; УРЧ — усилитель радиочастоты; См1, См2 — смесители; УПЧ1, УПЧ2 — усилители промежуточной частоты; Г1, Г2 — гетеродины; АД — амплитудный детектор; УНЧ — усилитель низкой частоты

Рис. 4.1 — Структурная схема связного приемника

Основными параметрами приемника являются: частотный диапазон, чувствительность, частотная избирательность, полоса пропускания и др.

Чувствительностью приемника называется его способность принимать слабые сигналы. Различают реальную и пороговую чувствительность приемника.

Реальная чувствительность связного приемника — это минимальный уровень сигнала на входе приемника **при отсутствии внешних помех**, при котором на выходе приемника обеспечивается заданное отношение сигнал/шум при номинальной мощности выходного сигнала.

Пороговая чувствительность приемника измеряется при отношении сигнал/шум, равном единице.

Реальная чувствительность приемника измеряют в единицах напряжения, мощности или в логарифмических единицах “дБм”.

В режиме согласования приемника с антенной чувствительность приемника, выраженная в единицах мощности, связана с чувствительностью, выраженная в единицах напряжения, следующим соотношением

$$P_A = \frac{E_A^2}{4R_A}, \quad (4.1)$$

где R_A — эквивалентное сопротивление антенны.

Чувствительность приемника, выраженная в логарифмических единицах по отношению к мощности в 1 мВт, определяется по формуле

$$S = 10 \lg P_A \text{ [дБм]}, \quad (4.2)$$

где P_A — значение чувствительности приемника, выраженное в милливаттах.

Например, если чувствительность приемника в единицах мощности составляет $P_A = 4 \cdot 10^{-16}$ Вт = $2 \cdot 10^{-13}$ мВт, то в единицах “дБм” чувствительность будет равна $S = 10 \lg 2 \cdot 10^{-13} = -124$ дБм.

Частотной избирательностью приемника называется его способность выделять полезный сигнал, который в теории радиоприема называется **основным каналом**, из множества сигналов с разными частотами.

Различают частотную избирательность приемника по соседнему и по побочным каналам приема.

Соседний канал представляет собой сигнал, отстоящий по частоте от основного канала на величину $\Delta f_{\text{ск}}$, значение которой определяется стандартами или техническими условиями. Основному каналу с частотой f_c соответствуют два соседних канала с частотами $f_{\text{ск1}} = f_c - \Delta f_{\text{ск}}$ и $f_{\text{ск2}} = f_c + \Delta f_{\text{ск}}$.

Побочными каналами приема называют сигналы сторонних радиостанций и помехи, которые при попадании на вход смесителя преобразуются на промежуточную частоту и затем усиливаются УПЧ наравне с основным каналом. Различают следующие виды побочных каналов: **прямой, зеркальный и комбинационные**.

Прямой канал представляет собой сигнал с промежуточной частотой $f_{\text{пр}}$ приемника или частотой его субгармоники $f_{\text{пр}}/n$, где $n = 2, 3, 4, \dots$

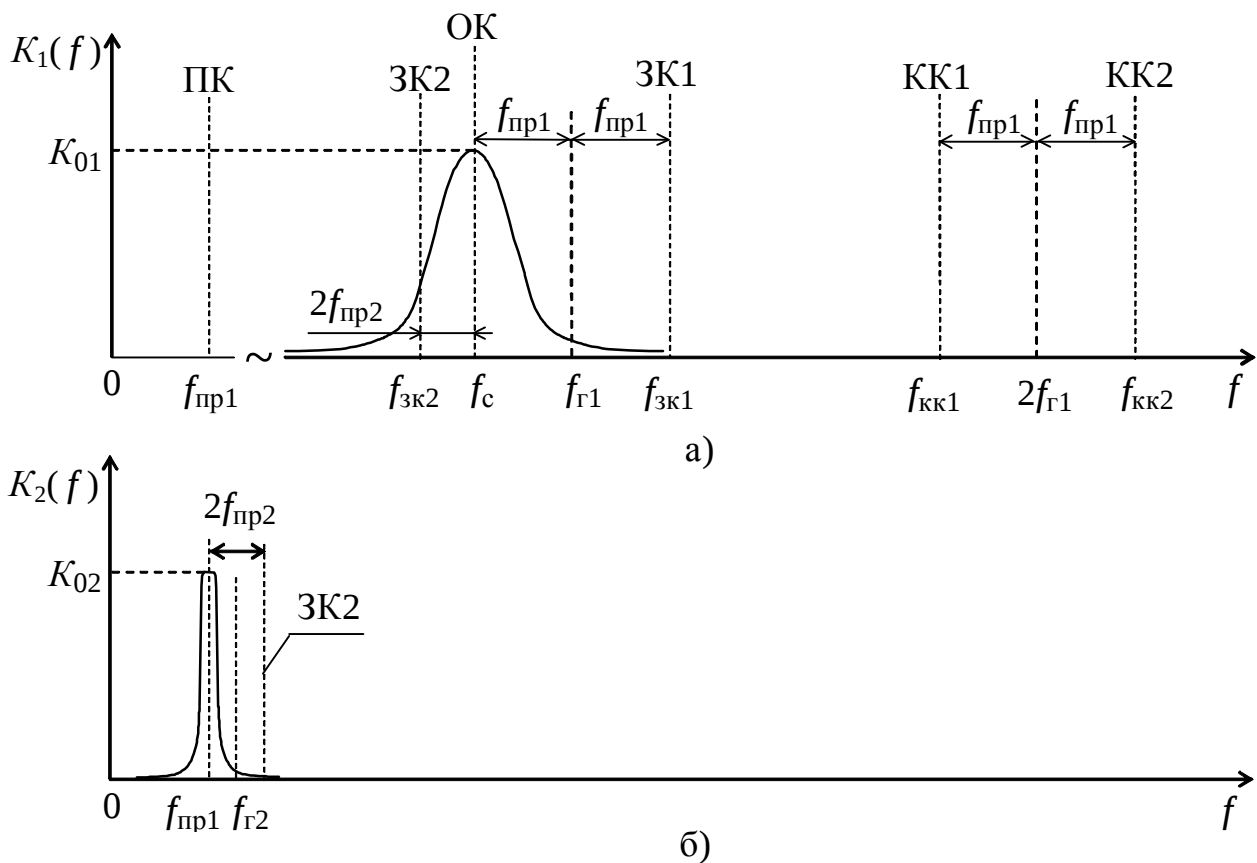
Зеркальный канал представляет собой сигнал, частота которого $f_{\text{зк}}$ отстоит от частоты гетеродина $f_{\text{г}}$ на расстоянии, равном промежуточной частоте $f_{\text{пр}}$, в сторону противоположную основному каналу. Поэтому интервал между несущими частотами основного и зеркального каналов равен $|f_c - f_{\text{зк}}| = 2 f_{\text{пр}}$.

Комбинационные каналы, представляют собой сигналы с частотами $f_{\text{кк}} = (m f_{\text{г}} \pm f_{\text{пр}})/n$, где $m = 2, 3, 4, \dots$; $n = 1, 2, 3, \dots$

В приемнике с многократным преобразованием частоты число прямых и зеркальных каналов равно числу преобразований частоты.

На рис. 4.2 (а) изображена АЧХ преселектора $K_1(f)$, настроенного несущую частоту f_c основного канала ОК (полезного сигнала), а также частотная диаграмма расположения возможных каналов приема супергетеродинного приемника с двойным преобразованием частоты при верхней настройке обоих гетеродинов $f_{г1} > f_c$, $f_{г2} > f_{пр1}$.

Из рис. 4.2 (а) видно, что подавление побочных каналов, обусловленных первым преобразованием частоты: прямого ПК, первого зеркального ЗК1 и комбинационных КК1, КК2 осуществляется с помощью преселектора, который на частотах этих каналов имеет достаточно малый коэффициент усиления.



ПК — прямой канал; ОК — основной канал; ЗК1, ЗК2 — зеркальные каналы;
КК1, КК2 — комбинационные каналы

Рис. 4.2 — АЧХ преселектора $K_1(f)$ (а) и УПЧ1 $K_2(f)$ (б)

В результате второго преобразования частоты образуется **второй зеркальный канал ЗК2**, частота которого на входе приемника составляет $f_{зк2} = f_c - 2f_{пр2}$. Поскольку обычно $f_{пр2} \ll f_{пр1}$, то преселектор приемника не может обеспечить достаточное подавление второго зеркального канала. Основное подавление этого канала реализуется в УПЧ1, что видно из рис. 4.1 (б), на котором изображена АЧХ УПЧ1 и показано расположение второго зеркального канала ЗК2 после первого преобразования частоты. С этой точки зрения УПЧ1 играет роль преселектора по отношению ко второму преобразователю частоты.

Последний усилитель промежуточной частоты УПЧЗ, настроенный на вторую достаточно низкую промежуточную частоту $f_{\text{пр}2}$, является наиболее узкополосным блоком линейного тракта приемника и за счет этого обеспечивает основное подавление соседнего канала.

4.3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 4.3) состоит из связного супергетеродинного радиоприёмника “Волна К”, головных телефонов и комплекта измерительных приборов:

- генератор стандартных сигналов ГСС;
- милливольтметр переменного напряжения Мв;
- цифровой частотомер ЦЧ.

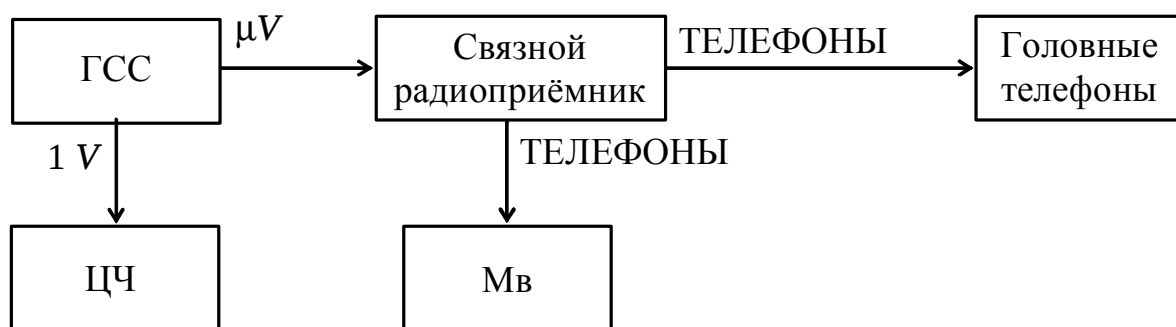


Рис. 4.3 — Структурная схема лабораторной установки для исследования связного приемника

Основные характеристики связного приёмника “Волна К” приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Основные характеристики приемника “Волна К”

Наименование параметра	Значение
Частотный диапазон, МГц	0,12 ... 12
Число поддиапазонов	9
Возможные значения полосы пропускания, кГц	0,5; 1,5; 6
Реальная чувствительность при отношении сигнал/шум на выходе приемника $q_{\text{вых}} = 3$: в телеграфном режиме при полосе пропускания 0,5 кГц; в телефонном режиме при полосе пропускания 1,5 кГц; в телефонном режиме при полосе пропускания 6 кГц.	не более 4 мкВ не более 20 мкВ не более 40 мкВ
Частотная избирательность по побочным и соседним каналам приема, дБ	не менее 60
Номинальное напряжение на выходе “ТЛФ” при $P_{\text{вых}} = 5$ мВт, В	1,8

На поддиапазонах с первого по шестой приемник работает с одним преобразованием частоты и имеет промежуточную частоту $f_{\text{пч}1} = 915$ кГц. На седь-

мом, восьмом и девятом поддиапазонах приемник работает с двумя преобразованиями частоты и имеет промежуточные частоты $f_{пч1} = 915$ кГц и $f_{пч2} = 85$ кГц соответственно. Оба преобразования частоты выполняются при верхней настройке гетеродина.

Система АРУ приемника обеспечивает изменение уровня выходного напряжения приёмника не более 12 дБ при изменении уровня входного напряжения на 60 дБ. В приемнике предусмотрена возможность отключения системы АРУ.

4.4. Задание на лабораторную работу

Исследовать реальную чувствительность и частотную избирательность связного приемника при его работе в телефонном и телеграфном режимах.

4.5. Подготовка лабораторной установки к работе

4.5.1. Ознакомиться с правилами выполнения лабораторных работ, приведенными во введении.

4.5.2. Собрать лабораторную установку (см. рис. 4.3). Для этого:

- подключить выход “mV” ГСС к антенному входу приемника;
- подключить выход “1 V” ГСС к входу цифрового частотомера;
- подключить к одним гнездам “ТЕЛЕФОНЫ” приемника милливольтметр переменного напряжения, а к другим головные телефоны.

4.5.3. Установить органы управления ГСС в следующие положения:

- тумблеры “mV” и “1 V” в положение “Выкл”;
- ступенчатый аттенюатор выходного сигнала в положение “10” красной шкалы;
- переключатель режима модуляции в положение “Внутр”, соответствующее внутренней амплитудной модуляции;
- регулятор коэффициента амплитудной модуляции “Глубина мод. %” в положение, соответствующее значению 30%.

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

4.5.5. Установить органы управления приемника в следующие положения:

- переключатель “Поддиапазон” по указанию преподавателя в одно из положений: 7, 8 или 9;
- переключатель “Род работы” в положение “ТЛФ”;
- переключатель “Полоса” в положение “6 кГц”;
- переключатель “Постоянная времени АРУ” в положение “Выкл. АРУ”;
- регулировки “Усиление П.Ч.” и “Усиление Н.Ч.” в среднее положение;

- тумблер “Громкоговоритель” в положение “Выкл.”

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

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

4.6. Измерение реальной чувствительности приёмника в телефонном режиме

4.6.1. Настроить приемник на произвольную частоту f_0 поддиапазона, на которой не прослушиваются сигналы работающих радиостанций или других источников внешних помех и слышны только внутренние шумы приемника.

4.6.2. Установить тумблер ГСС “mV” в положение “Вкл.” и, регулируя аттенюаторы ГСС, установить на его выходе амплитудно-модулированный сигнал $U_{\Gamma} = 5...10$ мкВ с частотой модуляции $F = 1000$ Гц и глубиной модуляции $M = 30$ %.

4.6.3. Перестраивая ГСС по частоте, добиться появления в головных телефонах звукового сигнала с частотой модуляции. Плавно подстраивая ГСС по частоте добиться максимальной громкости сигнала, что свидетельствует о совпадении частоты входного сигнала с частотой настройки приемника.

4.6.4. Установить тумблер ГСС “mV” в положение “Выкл.”. При этом должен прослушиваться только собственный шум приемника. Регулировками “Усиление П.Ч.” и “Усиление Н.Ч.” приемника установить по показаниям милливольтметра напряжение шума на выходе приемника $U_{\text{ш}} = 0,6$ В.

4.6.5. Установить тумблер ГСС “mV” в положение “Вкл.”. Изменяя с помощью аттенюаторов уровень выходного напряжения ГСС, установить по показаниям милливольтметра на выходе приемника номинальное напряжение $U_{\text{н}} = 1,8$ В.

4.6.6. Определить по шкалам аттенюаторов ГСС его выходное напряжение (см. Приложение Б), которое представляет собой реальную чувствительность $E_{\text{Ар}}$ приемника. Полученное значение $E_{\text{Ар}}$ занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 — Результаты измерения параметров приемника, настроенного на частоту $f_0 =$ кГц

Наименование параметр	Значение
$E_{\text{Ар}}$, мкВ	
S , дБм	
$\Pi_{0,7}$, кГц	
$Se_{\text{зк1}}$, дБ	
$Se_{\text{зк2}}$, дБ	
$Se_{\text{пк}}$, дБ	
$Se_{\text{ск}}$, дБ	

4.6.7. Полагая эквивалентное сопротивление антенны равным $R_{\text{А}} = 50$ Ом.

рассчитать чувствительность приемника в логарифмических единицах, используя формулы (4.1) и (4.2), и полученное значение занести в таблицу 4.2.

4.6.8. Установить тумблер ГСС “1 V” в положение “Вкл.” и по показаниям цифрового частотомера определить частоту $f_{\Gamma} = f_0$ настройки ГСС и занести в заголовок таблицы 4.2. После измерения частоты установить тумблер ГСС “1 V” в положение “Выкл”

Внимание! Включение напряжения на выходе “1 V” ГСС производится только на время измерения частоты ГСС с помощью цифрового частотомера. Это делается с целью устранения паразитного прохождения мощного сигнала ГСС с выхода “1 V” на антенный вход приемника, что вызывает искажение результатов измерения чувствительности.

4.7. Измерение полосы пропускания приемника

4.7.1. Плавно изменяя частоту настройки ГСС, найти значения частоты $f_1 < f_0$ и $f_2 > f_0$, при которых выходное напряжение приемника равно $U_{\text{вых}} = 0,7U_{\text{н}} = 0,7 \cdot 1,8 \approx 1,27 \text{ В}$.

4.7.2. Рассчитать полосу пропускания приемника $\Pi_{0,7} = f_2 - f_1$ и полученное значение занести в таблицу 4.2.

4.8. Измерение частотной избирательности приемника по первому зеркальному каналу

4.8.1. Рассчитать частоту первого зеркального канала по формуле $f_{\text{зк1}} = f_0 + 2f_{\text{пр1}}$, где $f_{\text{пр1}} = 915 \text{ кГц}$ — первая промежуточная частота, и полученное значение занести в протокол.

4.8.2. Настроить ГСС на частоту $f_{\text{зк1}}$ по показаниям цифрового частотомера, выполняя действия в соответствии с п. 4.6.8.

4.8.3. Изменяя выходное напряжение ГСС, установить по показаниям милливольтметра на выходе приемника номинальное напряжение $U_{\text{н}} = 1,8 \text{ В}$ и определить по шкалам аттенюаторов ГСС его выходное напряжение $E_{\text{Азк1}}$.

4.8.3. Рассчитать частотную избирательность приемника в децибелах по первому зеркальному каналу по формуле

$$Se_{\text{зк1}} = 20 \lg \frac{E_{\text{Азк1}}}{E_{\text{А0}}}$$

и полученное значение занести в таблицу 4.2.

4.9. Измерение частотной избирательности приемника по второму зеркальному каналу

4.9.1. Рассчитать частоту второго зеркального канала на входе приемника по формуле $f_{\text{зк2}} = f_0 - 2f_{\text{пр2}}$, где $f_{\text{пр}} = 85 \text{ кГц}$ — вторая промежуточная час-

тота, и полученное значение занести в протокол.

4.9.2. Настроить ГСС на частоту $f_{зк2}$ по показаниям цифрового частотомера, выполняя действия в соответствии с п. 4.6.8.

4.9.3. Изменяя выходное напряжение ГСС, установить по показаниям милливольтметра на выходе приемника номинальное напряжение $U_H = 1,8$ В и определить по шкалам аттенюаторов ГСС его выходное напряжение $E_{Азк2}$.

4.9.3. Рассчитать частотную избирательность приемника в децибелах по второму зеркальному каналу по формуле

$$Se_{зк2} = 20 \lg \frac{E_{Азк2}}{E_{А0}}$$

и полученное значение занести в таблицу 4.2.

4.10. Измерение частотной избирательности приемника по прямому каналу

4.10.1. Не изменяя частоту настройки приёмника, настроить ГСС на первую промежуточную частоту $f_{пр1} = 915$ кГц по показаниям цифрового частотомера, выполняя действия в соответствии с п. 4.6.8.

4.10.2. Изменяя выходное напряжение ГСС, установить по показаниям милливольтметра на выходе приемника номинальное напряжение $U_H = 1,8$ В и определить по шкалам аттенюаторов ГСС его выходное напряжение $E_{Апк}$.

4.10.3. Рассчитать частотную избирательность приемника в децибелах по прямому каналу по формуле

$$Se_{пк} = 20 \lg \frac{E_{Апк}}{E_{А0}}$$

и полученное значение занести в таблицу 4.2.

4.11. Измерение частотной избирательности приемника по соседнему каналу

4.11.1. Не изменяя частоту настройки приёмника, настроить ГСС на частоту соседнего канала $f_{ск} = f_0 + \Delta f_{ск}$, где $\Delta f_{ск} = \pm 20$ кГц — абсолютная расстройка по соседнему каналу (знак расстройки выбирается произвольно). Значение частоты контролировать по показаниям цифрового частотомера, выполняя действия в соответствии с п. 4.6.8.

4.11.2. Изменяя выходное напряжение ГСС, установить по показаниям милливольтметра на выходе приемника номинальное напряжение $U_H = 1,8$ В и определить по шкалам аттенюаторов ГСС его выходное напряжение $E_{Аск}$.

4.11.3. Рассчитать избирательность приемника в децибелах по соседнему каналу по формуле

$$Se_{\text{ск}} = 20 \lg \frac{E_{\text{Аск}}}{E_{\text{Ар}}}$$

и полученное значение занести в таблицу 4.2.

4.11.4. Установить переключатель приемника **“Полоса”** в положение **“1,5 кГц”** и определить частотную избирательность приемника по соседнему каналу, выполняя действия в соответствии с п. п. 4.11.1...4.11.3.

4.11.5. Установить переключатель приемника **“Полоса”** в положение **“0,5 кГц”** и определить частотную избирательность приемника по соседнему каналу, выполняя действия в соответствии с п. п. 4.11.1...4.11.3.

4.12. Измерение АЧХ приёмника

4.12.1. Установить переключатель приемника **“Полоса”** в положение **“6 кГц”**.

4.12.2. Регулируя аттенюаторы ГСС, установить на его выходе **“mV”** напряжение, равное удвоенному значению реальной чувствительности приемника $U_{\Gamma} = 2E_{\text{Ар}}$ (см. п. 4.6.6), и полученное значение занести в таблицу 4.3.

4.12.3. Настроить ГСС по частоте, приблизительно равную частоте настройки приемника, найденной при выполнении п. 4.6.7. Затем, плавно подстраивая ГСС по частоте, добиться по показаниям милливольтметра максимального напряжения U_{max} на выходе приемника, что свидетельствует о совпадении частоты настройки ГСС с частотой настройки приемника f_0 . Полученные значения напряжения U_{max} занести в заголовок таблицы 4.3.

4.12.2. Измерить частоту $f_{\Gamma} = f_0$ ГСС, выполнив действия по п. 4.6.8, и полученное значение занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 — Результаты измерения АЧХ при $U_{\text{max}} = \dots\dots\dots$

Наименование параметра	Значение					
f_{Γ} , кГц						
U_{Γ} , мкВ						
γ						

4.12.3. , Выполняя действия в соответствии с п. 4.6.8, настроить ГСС по показаниям цифрового частотомера на частоту $f_{\Gamma} = f_0 + 0,5\Pi_{0,7}$, где $\Pi_{0,7}$ — полоса пропускания приемника, найденная в п. 4.7.2.

4.12.4. Изменяя выходное напряжение ГСС, установить по показаниям милливольтметра напряжение на выходе приемника, равное U_{max} . Определить по шкалам аттенюаторов ГСС его выходное напряжение U_{Γ} .

4.12.5. Полученные значения частоты f_{Γ} и напряжения U_{Γ} занести в таблицу 4.3.

4.12.6. Устанавливая значения частоты настройки ГСС $f_{\Gamma} = f_c + n0,5\Pi_{0,7}$, где $n = 2, 3, 5, 8, 10$, определить значения частоты f_{Γ} и напряжения U_{Γ} , выполняя действия аналогичные п. п. 4.12.3...4.12.4. Найденные значения частоты и напряжения занести в таблицу 4.3.

4.12.7. Используя данные таблицы 4.3, рассчитать нормированную АЧХ приемника по формуле

$$\gamma = 2E_{\text{Ар}}/U_{\Gamma}$$

где $U_{\text{вых max}}$ — максимальное значение выходного напряжения приемника.

4.12.8. Результаты расчета занести в таблицу 4.3 и на основании их построить нормированную АЧХ приемника.

4.13. Содержание отчета

Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными во введении.

В выводах необходимо сравнить технических характеристик приемника (см. таблицу 4.1) с экспериментальными результатами.

4.14. Контрольные вопросы

4.14.1. Дайте определение реальной и пороговой чувствительности радиоприемника.

4.14.2. Поясните метод измерения реальной чувствительности приемника.

4.14.3. Какой узел линейного тракта супергетеродинного приемника обеспечивают основное усиление принимаемого сигнала?

4.14.4. Нарисуйте частотную диаграмму возможных каналов приема супергетеродинного приемника.

4.14.5. Поясните метод измерения частотной избирательности супергетеродинного приемника.

4.14.6. Какие узлы супергетеродинного приемника обеспечивают частотную избирательность по соседнему каналу?

4.14.7. Какие узлы супергетеродинного приемника обеспечивают частотную избирательность по зеркальному и прямому каналам.

4.14.8. С какой целью в связанных приемниках применяют двойное преобразование частоты, и из каких соображений выбирают промежуточные частоты такого приемника?

4.14.9. В результате чего в приемнике с двойным преобразованием частоты образуется второй зеркальный канал, и каким узлом приемника он подавляется?

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕСЕЛЕКТОРА ПРИЕМНИКА

5.1. Цель лабораторной работы

Целью работы является приобретение навыков компьютерного моделирования каскадов супергетеродинного приемника с помощью программы **MicroCap**.

Краткое руководство по работе с программой **MicroCap** приведено в приложении В. Дополнительные сведения о программе **MicroCap** могут быть найдены в документации, встроенной в программу, а также в технической литературе [7, 8].

5.2. Описание модели преселектора

Модель преселектора (рис. 5.1) приемника состоит из входной цепи и усилителя радиочастоты.

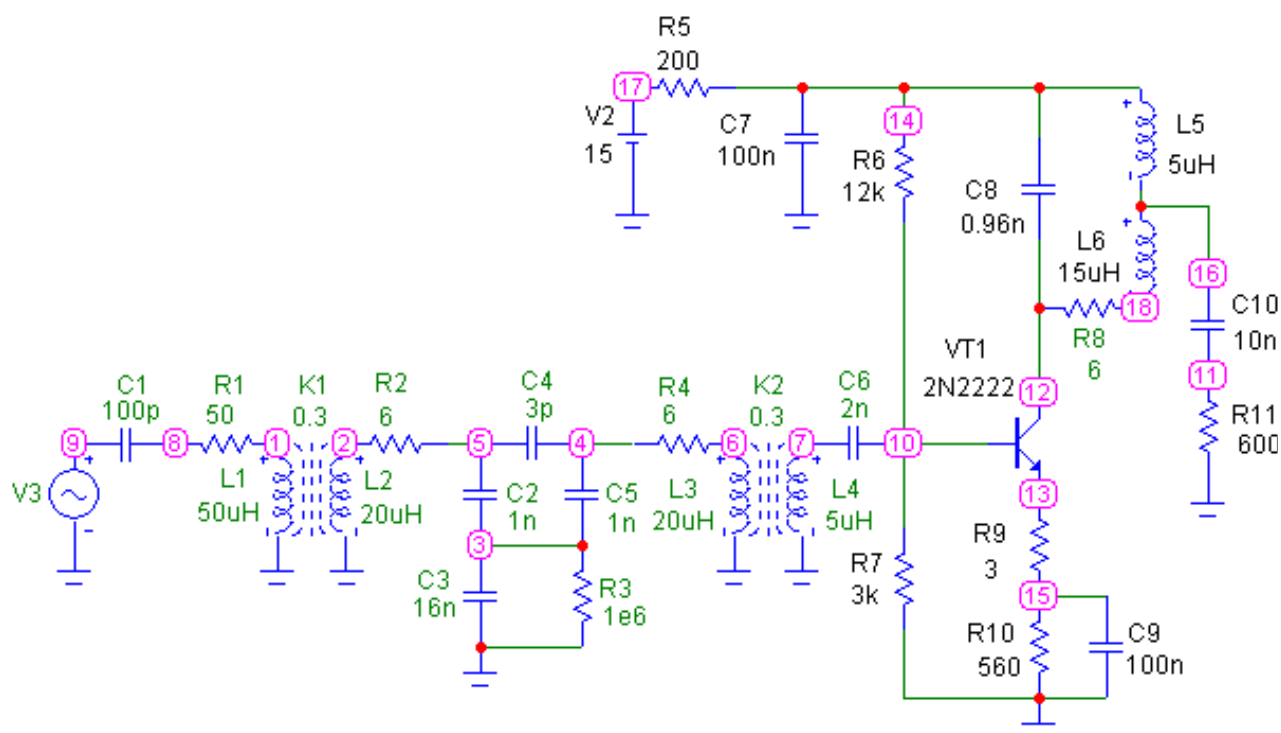


Рис. 5.1 — Модель преселектора приемника

Цепь $C1$, $R1$, $L1$ представляет собой эквивалент антенны, индуктивно связанной с входной цепью преселектора. Источник гармонического напряжения $V1$ эмулирует ЭДС, наводимую в антенне.

Входная цепь состоит из двух контуров, первый из которых образован элементами $L2$, $R2$, $C2$, $C3$, а второй — элементами $L2$, $R4$, $C5$, $C3$. Емкость $C3$, является общей для обоих контуров, обеспечивает внутреннюю, а

емкость $C4$ внешнюю емкостную связь между контурами.

Входная цепь индуктивно связана с однокаскадным усилителем радиочастоты, собранном на транзисторе $VT1$ по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой транзистора является параллельный колебательный контур $C8, L5, L6, R8$, к которому через разделительную емкость $C10$ частично подключено сопротивление $R11$, моделирующее входное сопротивление следующего каскада.

Питание усилителя радиочастоты осуществляется от источника постоянного напряжения $V2$ напряжением $+15$ В.

5.3. Задание на лабораторную работу

При выполнении лабораторной работы необходимо исследовать характеристики модели преселектора супергетеродинного приемника.

5.4. Создание модели преселектора приемника

5.4.1. Ознакомиться с правилами выполнения лабораторных работ, приведенными во введении.

5.4.2. Включить персональный компьютер.

5.4.3. На рабочем столе монитора навести курсор на пиктограмму программы **MicroCap** и, щелкнув левой клавишей мыши, запустить программу.



5.4.4. Используя материал, изложенный в приложении В, внимательно изучить спадающие меню программы **MicroCap**, которые открываются при нажатии кнопок верхней командной строки окна программы.

5.4.5. Открыть меню **Help** и запустить программу **General Demo**, которая показывает процесс создания и исследования модели цепи. Для временной остановки **General Demo** необходимо нажать клавишу **Pause Break** клавиатуры, а для продолжения — любую клавишу клавиатуры. Для выхода из **General Demo** достаточно нажать клавишу **Esc** клавиатуры.

5.4.6. Создать модель преселектора (рис. 5.1).

5.4.7. Используя команду **Copy to Clipboard** (копировать в буфер обмена) из меню **Edit** (издать), выбрать опцию **Copy the Visible Portion of Window in BMP Formatt** (копировать видимую часть окна в формате **BMP**) и скопировать созданную модель преселектора в буфер обмена.

5.4.8. Используя меню рабочего стола **Пуск — Программы — Microsoft Office**, запустить программу **Word**, создать пустой личный файл, присвоив ему свою фамилию и номер группы (например, **Иванов_P41д.doc**), и сохранить этот файл в папке, указанной преподавателем. Личный файл необходим для хранения электронного протокола лабораторной работы.

5.4.9. Вставить копию рисунка модели, хранящегося в буфере обмена, в личный файл с помощью команды **Вставить** из меню **Правка** программы **Word**.

5.5. Исследование частотных характеристик преселектора

5.5.1. В командной строке рабочего окна открыть падающее меню **Analysis**

(анализ) и выбрать в нем команду **AC...** (анализ частотных характеристик).

5.5.2. В открывшемся окне **AC Analysis Limits** задать численные значения параметров режима анализа:

- частотный диапазон (**Frequency Range**) от 900 кГц до 1,4 МГц;
- максимальное относительное приращение частоты (**Maximum Change %**) равным 0,1.

Другие параметры режима анализа можно оставить такими, какими они установлены по умолчанию.

Для наблюдения АЧХ в первую строку нижней части окна **AC Analysis Limits** ввести:

- в рамку **P** номер диаграммы (например, 1);
- в рамку **Yexpression** выражение для модуля комплексного коэффициента передачи цепи в виде отношения выходного и входного напряжений преселектора $V(11)/V(9)$ (цифры в скобках представляют собой номера узлов, соответствующих выходу и входу преселектора).

Для наблюдения ФЧХ во вторую строку нижней части окна **AC Analysis Limits** ввести:

- в рамку **P** номер диаграммы (например, 2);
- в рамку **Yexpression** выражение для аргумента комплексного коэффициента передачи преселектора $ph(V(11)/V(9))$.

5.5.3. Щелкнуть кнопку **Run** (запуск эмуляции) и наблюдать АЧХ и ФЧХ преселектора в рабочем окне **AC Analysis**.

5.5.4. Скопировать содержимое окна **AC Analysis** в протокол, выполнив действия по п. п. 5.4.7, 5.4.9.

5.5.5. Включить режим курсоров, для чего необходимо щелкнуть кнопку , которая расположена в третьей строке рабочего окна **AC Analysis**.

5.5.6. Используя левый и правый курсоры, которые активизируются при нажатии левой и правой клавишей мыши соответственно, определить по изображению АЧХ резонансную частоту f_p , резонансный коэффициент передачи K_0 и полосы пропускания $\Pi_{0,7}$ и $\Pi_{0,1}$ на уровнях 0,7 и 0,1 преселектора.

5.5.7. Полагая промежуточную частоту приемника равной $f_{пр} = 465$ кГц рассчитать частоту зеркального канала $f_{зк} = f_p + 2f_{пр}$ и определить избирательность преселектора по зеркальному каналу.

5.5.6. Рассчитать добротность Q и коэффициент прямоугольности АЧХ $K_{пр\gamma}$ преселектора по формулам:

$$Q = \frac{f_p}{\Pi_{0,7}};$$

$$K_{пр\gamma} = \frac{\Pi_{\gamma}}{\Pi_{0,7}}.$$

5.5.6. Полученные результаты моделирования и расчета занести в прото-

кол.

5.5.7. В командной строке окна **AC Analysis** щелкнуть кнопку **AC** и в открывшемся меню выбрать команду **Exit Analysis**, при исполнении которой программа выходит из режима **Analysis** и открывает окно модели.

5.6. Исследовать временных характеристик преселектора

5.6.1. Навести курсор мыши на графическое изображение источника напряжения **V1** и щелкнуть левой клавишей мыши. В открывшемся окне **Sine Source** (источник синусоидального напряжения) ввести в окошко **F** найденное ранее значение резонансной частоты f_p преселектора и щелкнуть кнопку **OK**.

5.6.2. В командной строке окна модели открыть спадающее меню **Analysis**, (анализ) и выбрать команду **Transient** (анализ временных диаграмм).

5.6.3. Рассчитать постоянную времени контуров преселектора по формуле $\tau \approx L_2 / 2R_2$.

5.6.4. Задать в окне **Transient Analysis Limits** численные значения параметров режима анализа:

- временной диапазон (**Time Range**) от 0 до $(10 \dots 20)\tau$;
- шаг дискретизации (**Maximum Time Step**). $t_d \approx 0,1T_0$, где $T_0 = 1/f_p$ —

периода повторения входного сигнала преселектора.

Другие параметры режима анализа можно оставить такими, какими они установлены по умолчанию.

5.6.5. В нижней части окна ввести в рамки **P** номера диаграмм, а в рамки **YExpression** — наименования узловых напряжений **V(9)** и **V(11)** на входе и выходе преселектора соответственно.

5.6.5. Щелкнуть кнопку **Run** (Запуск эмуляции) и наблюдать на мониторе временные диаграммы напряжений. Скопировать содержимое окна **Transient Analysis** в протокол, выполнив действия по п. п. 5.4.7, 5.4.9.

5.6.6. По временным диаграммам определить время установления $T_{уст}$ выходного напряжения. Результаты занести в протокол.

5.6.7. В командной строке окна щелкнуть кнопку **Transient** и в открывшемся меню выбрать команду **Exit Analysis**.

5.6.8. Заменить источник **Sine Source** (источник гармонического сигнала) источником **Pulse Source** (источник импульсного сигнала), который можно найти в библиотеке компонент по пути **Component—Analog Primitives—Wave Sources**.

5.6.9. Навести курсор мыши на графическое изображение источника импульсного напряжения и щелкнуть левой клавишей мыши. В открывшемся окне **Pulse**:

- содержимое рамки **VZERO** оставить без изменения;
- в рамку **VONE** (амплитуда импульса) ввести значение 0,01;
- в рамки **P1...P5** ввести значения времени, соответствующие формированию периодической последовательности импульсов, длительность которых

не превышает $P2 - P3 \leq 0,1T_0$, а период повторения $P5 \geq (1,5...2)T_{уст}$ (см. приложение В, п. В.5);

— щелкнуть кнопку **ОК**.

5.6.9. Повторить действия по п. п. 5.6.5...5.6.7.

5.6.10. После окончания лабораторной работы скопировать электронный протокол лабораторной работы на личный носитель информации.

5.7. Содержание отчета

Отчет по работе оформляется в соответствии с требованиями, приведенными во введении. В выводах необходимо отметить особенности полученных зависимостей, указать причины, вызывающие расхождение результатов моделирования с теоретическими результатами.

5.8. Вопросы для самоконтроля

5.8.1. Поясните структуру и назначение преселектора радиоприемника.

5.8.2. Дайте определение резонанса электрической цепи.

5.8.3. Нарисуйте двухконтурную входную цепь приемника и поясните возможные способы ее перестройки.

5.8.4. Поясните достоинства двухконтурной входной цепи по сравнению с одноконтурной.

5.8.5. Нарисуйте одноконтурный каскад УРЧ и поясните возможные способы его перестройки.

5.8.6. Дайте определения импульсной и переходной характеристикам линейной электрической цепи.

5.8.7. Поясните особенности импульсной характеристики преселектора.

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

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

4. Разевиг В. Д. Программа схемотехнического моделирования MicroCap 6 / В. Д. Разевиг. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001. — 344 с.

5. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования MicroCap 8 / М. А. Амелина. — М.: Горячая линия — Телеком, 2007. — 464 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А**Образец титульного листа**

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

ОТЧЕТ

по лабораторной работе

(название лабораторной работы)
по дисциплине “Прием и обработка сигналов”

Выполнил студент гр. _____

(Ф.И.О.)

Отметка о защите _____

Преподаватель _____
(Ф.И.О.)

Севастополь
20__

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Определение выходного напряжения ГСС

В ГСС напряжение с выхода задающего перестраиваемого генератора подается на цепь, состоящую из трех последовательно включенных регулируемых аттенюаторов.

Первый аттенюатор имеет плавную регулировку ослабления, которая осуществляется ручкой **“Установка уровня К”** по показаниям стрелочного индикатора, который установлен на передней панели ГСС и проградуирован в относительных единицах, характеризующих уровень напряжения.

Второй аттенюатор имеет плавную (генератор Г4-102) или ступенчатую (генератор Г4-18) регулировку ослабления, которая позволяет регулировать коэффициент передачи от 0,1 до 1. С выхода этого аттенюатора напряжение подается на выход **“0,1...1 V”** ГСС.

Третий аттенюатор во всех модификациях ГСС имеет ступенчатую регулировку ослабления и позволяет устанавливать следующие коэффициенты ослабления: 1, 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 . Сигнал с выхода аттенюатора поступает на выход **“mV”** ГСС.

Если с помощью ручки **“Установка уровня К”** показание стрелочного индикатора установлено равным **“К”**, что соответствует напряжению на входе второго аттенюатора равным 100 мВ, то значение напряжения на выходе **“mV”**, выраженное в милливольты численно равно произведению коэффициентов передачи второго и третьего аттенюаторов.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Основные сведения о программе *MicroCap*

Пакет программ *MicroCap (Microcomputer Circuit Analysis Program)* позволяет моделировать аналоговые, цифровые и смешанные аналого-цифровые электронные устройства.

В.1. Рабочее окно программы *MicroCap*

На рис. В.1. изображено рабочее окно, которое появляется на экране монитора после запуска программы *MicroCap*.

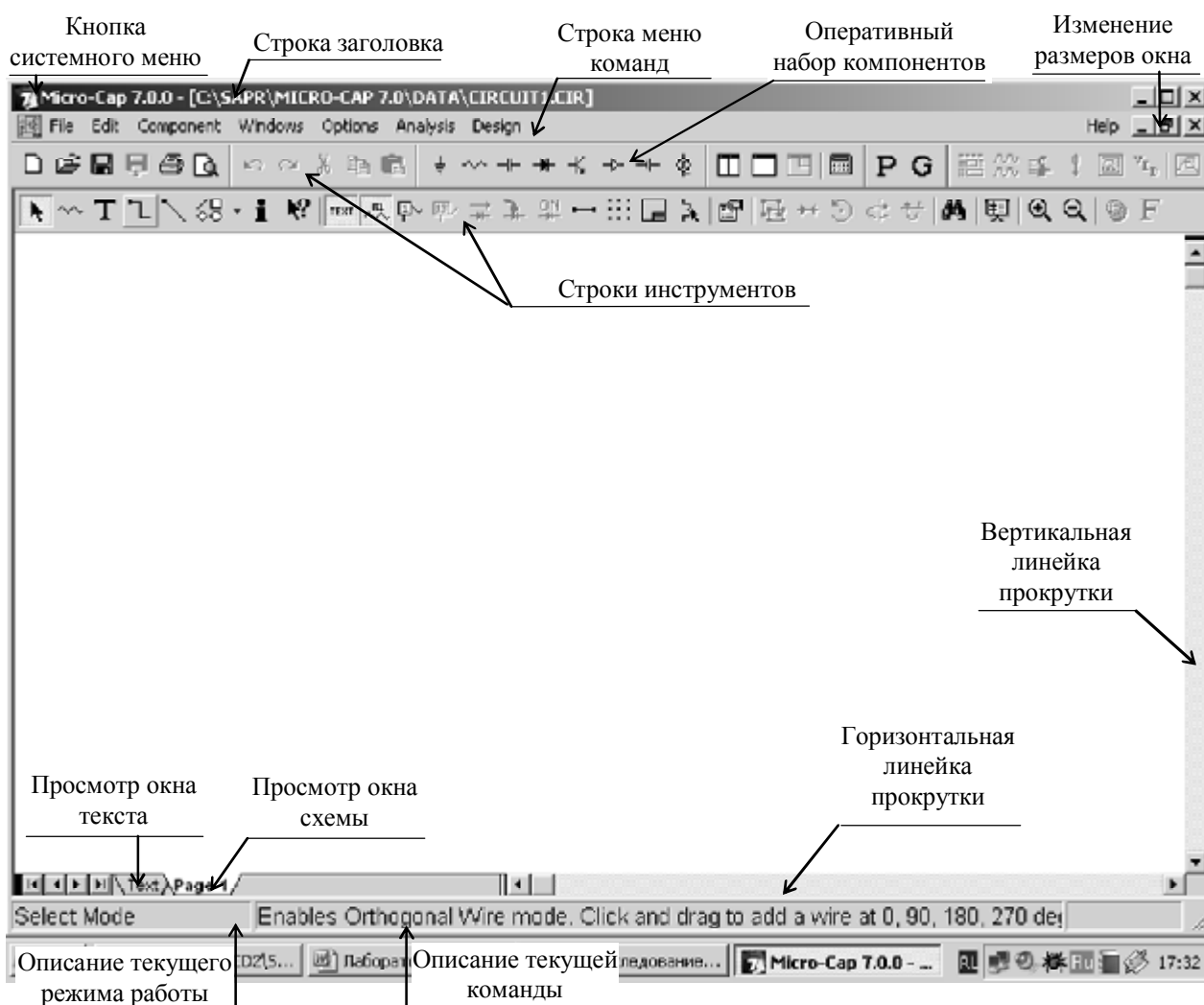


Рис. В.1 — Рабочее окно программы *MicroCap*

В левом верхнем углу окна расположена кнопка системного меню , слева от которой находится строка заголовка с указанием имени окна. Если открыто окно схемы, указывается путь к файлу данной схемы. Если открыто окно анализа характеристик модели, то указывается вид анализа.

Ниже строки заголовка располагается командная строка, содержащая

кнопки: , **File, Edit, Component, Windows, Options, Analysis, Design, Help**, нажатие каждой из которых вызывает разворачивание спадающего меню.

Справа от командной строки расположены кнопки , позволяющие изменять размеры окна и закрывать открытое окно.

Под строкой меню команд расположены две строки инструментов с кнопками, которые соответствуют наиболее часто используемым командам.



Рис. В.2 — Оперативный набор компонент

В середине первой строки инструментов расположен оперативный набор компонент ($R, C, L, \frac{1}{s}$ и т. п.), который показан на рис.

В.2. Слева от этого набора расположены наиболее часто используемые кнопки команд, которые аналогичны командам программы **Word**, а справа — кнопки вспомогательных команд.

Во второй строке инструментов расположены кнопки команд, наиболее важными из которых являются следующие:

 — кнопка включения режима выделения (**Select mode**), который используется для выделения компонент или частей модели;



— кнопка включения режима поиска и выбора компонент;



— кнопка включения режима ввода текста в рабочее окно модели;



— кнопка включения режима соединения компонент модели ортогонально расположенными проводами (**Enable Orthogonal Wire Mode**);



— кнопка включения режима вызова помощи, встроенной в программу;



— кнопка включения режима индикации номеров узлов модели;



— кнопки включения режимов увеличения или уменьшения размеров изображения модели в рабочем окне.

Под рабочим окном программы находится нижняя строка команд. В левой части строки расположены кнопки  (прокрутка страниц схемы), кнопка  (вызов текстовой информации) и кнопка  (вызов графического изображения), а в правой — линейка прокрутки содержимого окна по горизонтали.

В нижней строке окна приводятся сведения о текущем режиме работы и текущей команде.

В.2. Системное меню

Системное меню открывается кнопкой  и содержит команды, которые аналогичны системному меню программы **Word** и позволяют изменять и восстанавливать размер окна, сворачивать, разворачивать и закрывать окно.

В.3. Меню **File**

Меню **File** содержит команды, аналогичные командам меню **File** програм-

мы **Word**:

New... — создать новую модель схему;

Open... — открыть уже созданную модель,

Save — сохранить файл;

Save as... — присвоить название файлу и сохранить;

Tranlate — преобразовать файл из одной версии **Micro-Cap** в другую;

Load MC File... — загрузить файл программы **Micro-Cap**;

Close — закрыть файл;

Print Preview... — предварительный просмотр печати;

Print... — печать;

Print Setup... — закрыть файл.

B.4. Меню **Edit**

Меню **Edit** (Правка) содержит команды, аналогичные командам меню **Edit** программы **Word**:

Undo — отменить последнюю команду;

Redo — выполнить предыдущую команду;

Cut — вырезать выделенный объект;

Copy — копировать выделенный объект в буфер обмена;

Paste — вставить объект из буфера обмена в открытое окно;

Clear — удалить выделенный объект без копирования в буфер обмена;

Select All — выделить все объекты;

Copy to Clipboard — копировать содержимое окна в буфер обмена.

B.5. Меню **Component**

Меню **Component** (рис. В.3) представляет собой каталог аналоговых и цифровых компонентов, называемых в программе **Primitives** (Примитивы).

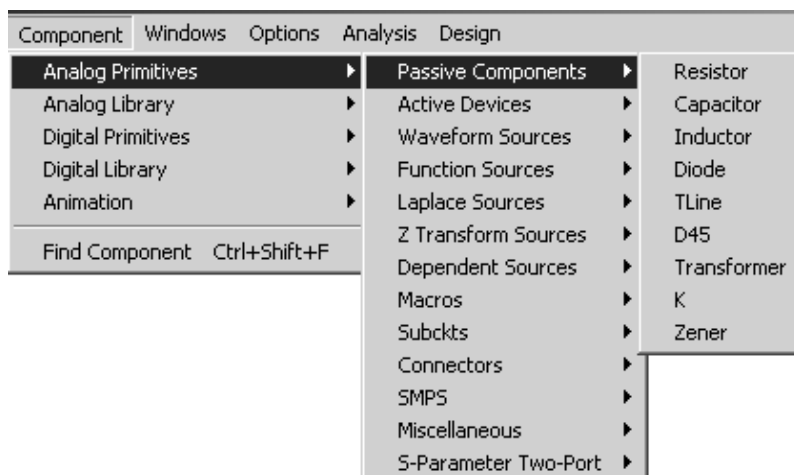


Рис. В.3 — Меню **Component**

Разделы каталога, отмеченные знаком ►, имеют собственное меню, открывающееся справа от основного меню (см. рис. В.3).

Компоненты схем выбирать либо из библиотеки компонент, либо из оперативного набора компонент (см. рис В.2). Наведя курсор на нужную компоненту, следует щелкнуть левой клавишей мыши, освободить клавишу и переместить курсор в область рабочего окна, где создается модель.

При этом курсор принимает вид графического изображения выбранной компоненты. Если теперь щелкнуть левой клавишей мыши, то в месте расположения курсора появляется изображение компонента и открывается окно для задания его параметров.

На рис. В.4 показано окно **Resistor** для ввода параметров резистора.

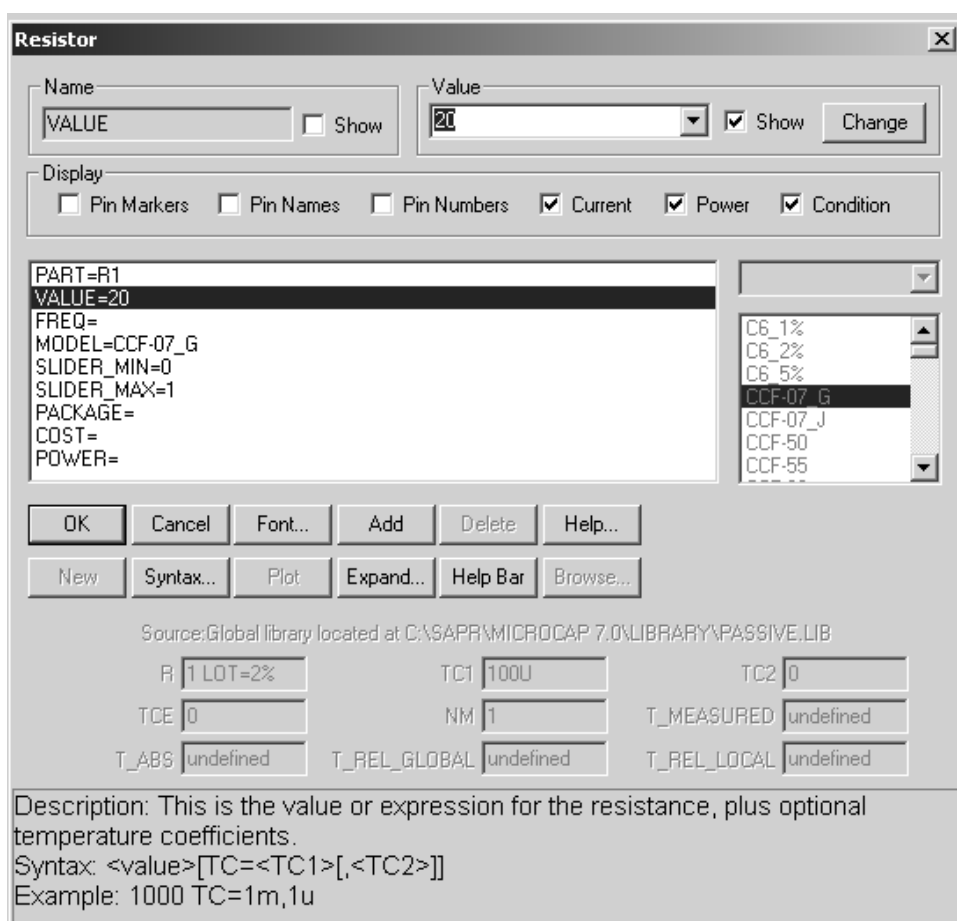


Рис. В.4 — Окно **Resistor**

В средней части окна расположен список атрибутов (характеристик) резистора:

PART — наименование резистора (например, *R1*, *R2* и т.д.);

VALUE — сопротивление резистора;

FREQ (*Frequency*) — функция, определяющая зависимость сопротивления от частота (при вводе в эту строку выражения, оно заменяет значение **Value** при работе в режиме **AC Analysis**);

MODEL — выбор модели резистора из перечня резисторов, который расположен в правой части окна и доступен при действии команды **MODEL**;

SLIDER MIN и **SLIDER MAX** — задание минимально и максимального значений переменного сопротивления;

PACKAGE — компоновка резистора (тип корпуса, габариты);

COST — цена резистора;

POWER — мощность, рассеиваемая резистором.

Если в окошке **Show**, расположенным справа от названия **Name** параметра или его значения **Value**, поставлена отметка, то это название или значение будут изображены на схеме в окне модели.

Под списком параметров компонента расположены две строки команд:

OK — подтвердить окончание ввода и закрыть окно;

Cancel — отменить ввод и закрыть окно;

Font — выбор типа шрифта для вводимых параметров;

Add — добавить новый атрибут к списку;

Delete — удалить атрибут из списка;

Help — вызов помощи;

New — добавить лист для новой модели;

Syntax... — вызов раздела помощи с описанием компонента;

Plot — показать график характеристики компонента, если это предусмотрено программой (например, временная диаграмма выходного сигнала источника, ВАХ диода или транзистора и т. п.);

Expand — расширить окно ввода параметра;

Help Bar — добавить стоку оперативной помощи, которая видна в нижней части окна **Resistor** (рис. В.4), с пояснением вводимого параметра.

После ввода необходимых параметров резистора следует щелкнуть кнопку **OK**, после чего окно ввода параметров закрывается.

Окна для ввода параметров других компонент имеют вид, аналогичный окну резистора.

На рис. В.5 показано окно источника постоянного напряжения **Battery**, в котором параметры **Part** и **Value** определяют наименование и напряжение в вольтах источника соответственно. При задании **Part** и **Value** следует поставить отметки в окошках **Show** для индикации их обозначений в схеме.

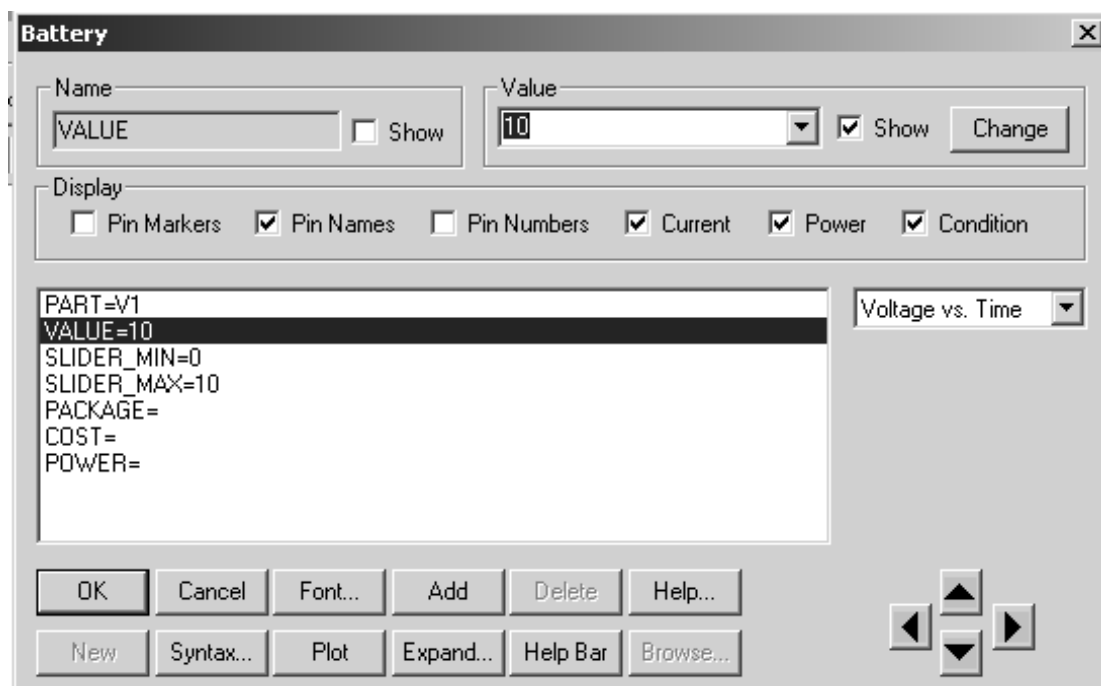


Рис. В.5 — Окно источника постоянного напряжения **Battery**

Источники напряжения содержатся в библиотеке компонент по пути **Component—Analog Primitives—Wave Sources**. Для выбора нужного источника напряжения следует навести курсор на его наименование в каталоге и щелкнуть левой клавишей мыши. Размещение выбранного источника в рабочем окне модели выполняется аналогично описанному выше размещению компонент.

В работе используются следующие источники напряжения:

Battery — источник постоянного напряжения;

Sine Source — источник синусоидального напряжения;

Pulse Source — источник импульсного напряжения.

На рис. В.6 показано окно источника синусоидального напряжения **Sine Source**, в средней части которого расположены окошки для ввода параметров источника сигнала, описание которых и значения по умолчанию представлены в таблице В.1.

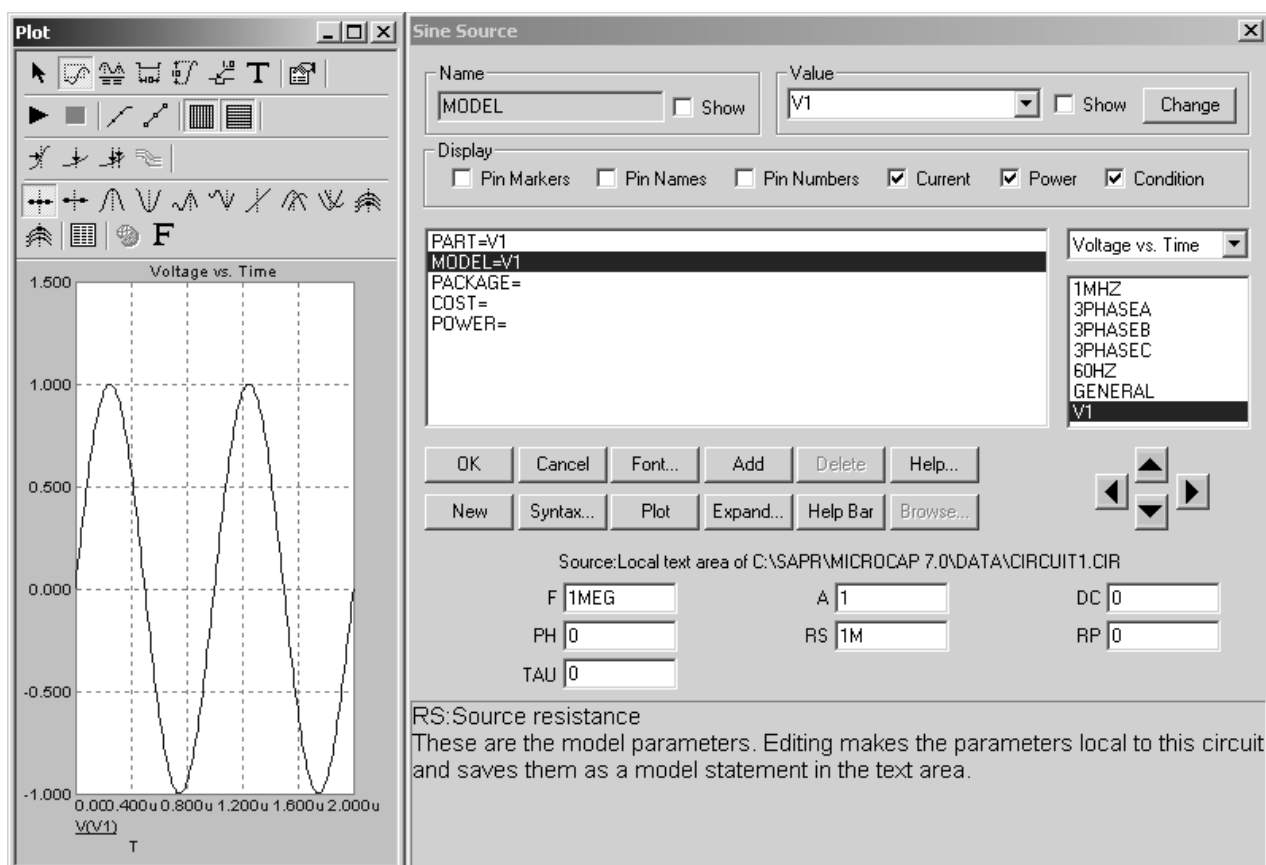


Рис. В.6 — Окна **Plot** (слева) и **Sine Source** (справа)

Таблица В.1 — Параметры модели **Sine Source**

Обозначение	Наименование	Размерность	Значение по умолчанию
<i>F</i>	Частота	Гц	10⁶
<i>A</i>	Амплитуда	В	1
<i>DC</i>	Постоянная составляющая	В	0
<i>PH</i>	Начальная фаза	град	0
<i>RS</i>	Внутреннее сопротивление	Ом	0,001
<i>RP</i>	Период повторения огибающей	с	0
<i>TAU</i>	Постоянная времени огибающей	с	0

При нажатии кнопки **Plot** рядом с окном **Sine Source** открывается дополнительное окно **Plot** с изображением временной диаграммы выходного напряжения источника, которое показано на рис. В.6. Окно **Plot** позволяет проконтролировать форму выходного сигнала источника **Sine Source**.

Для того чтобы источник вырабатывал незатухающее синусоидальное напряжение, необходимо установить параметры **DC**, **PH**, **RP** и **TAU** равными нулю. В правой части окна **Sine Source** расположен список моделей источников синусоидального напряжения, содержащихся в библиотеке моделей **Micro-Cap**. В нижней части окна **Sine Source** расположено строка помощи **Help Bar**, содержащая пояснение параметра, на окошко которого наведен курсор.

На рис. В.7 показано окно источника импульсных сигналов **Pulse Source**, параметры которого, установленные по умолчанию, представлены в таблице В.2.

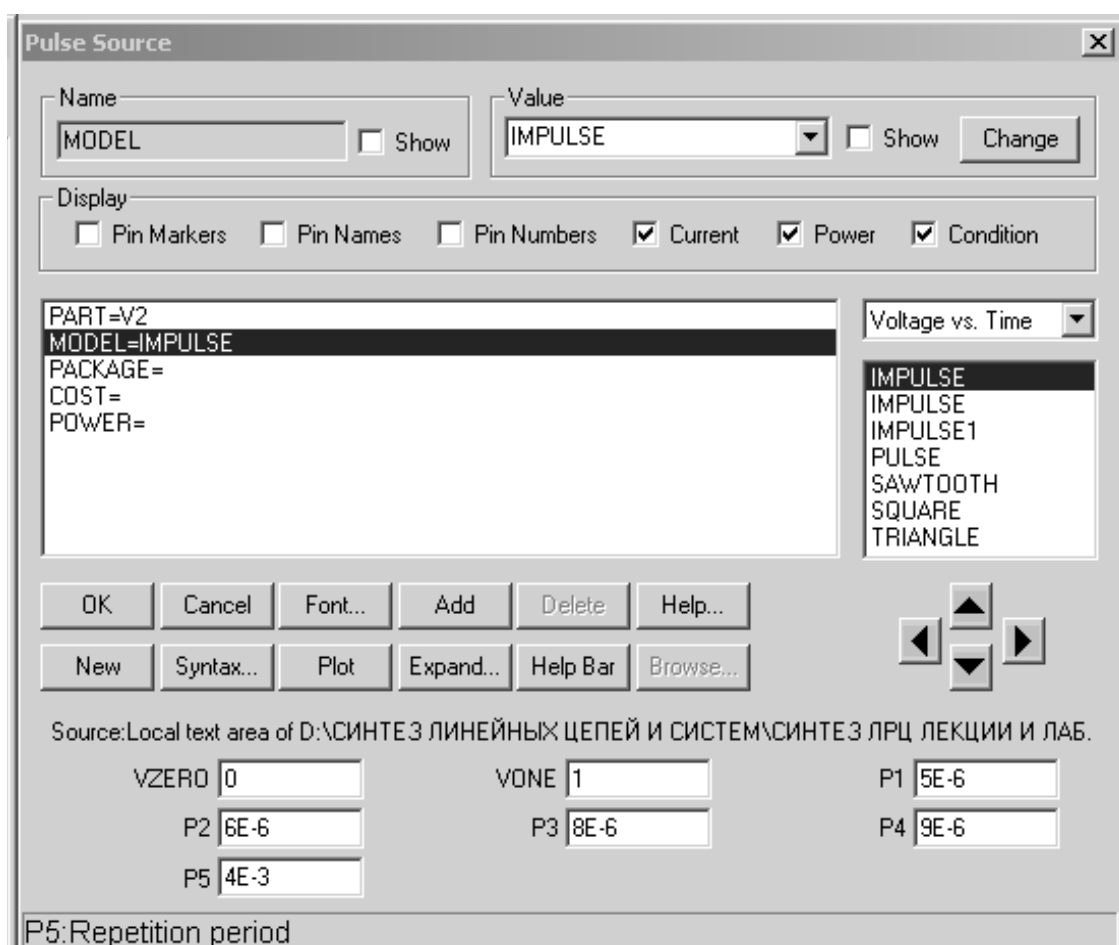
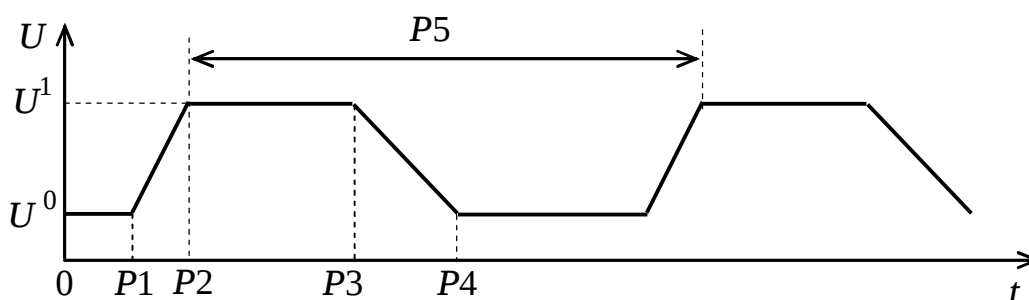


Рис. В.7 — Окно **Pulse Source**

На рис. В.8 изображена временная диаграмма напряжения, формируемого источником **Pulse Source**. Из рис. В.8 следует, что значения моментов времени обязательно должны удовлетворять условию $P1 \leq P2 \leq P3 \leq P4 \leq P5$.

Таблица В.2 — Параметры модели *Pulse Source*

Обозначение	Наименование	Размерность	Значение по умолчанию
<i>VZERO</i>	Напряжение логической единицы U^1	В	0
<i>VONE</i>	Напряжение логическому нулю U^0	В	5
<i>P1</i>	Начало переднего фронта импульса	с	10^{-7}
<i>P2</i>	Начало плоской вершины импульса	с	$1,1 \times 10^{-7}$
<i>P3</i>	Конец плоской вершины импульса	с	5×10^{-7}
<i>P4</i>	Конец заднего фронта импульса	с	$5,1 \times 10^{-7}$
<i>P5</i>	Период повторения импульсов	с	10^{-6}

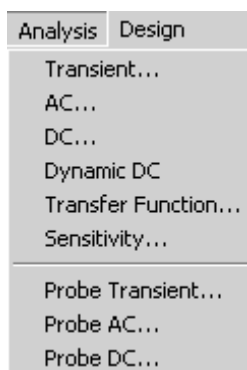
Рис. В.8 — Временная диаграмма напряжения источника *Pulse Source*

В.6. Меню *Windows* и *Options*

Меню *Windows* содержит команды, которые позволяют изменять размеры и расположение окон программы, а также вызывать калькулятор, встроенный в программу. Меню *Options* при выполнении лабораторной работы не используется.

В.7. Меню *Analysis*

Меню *Analysis* (Анализ) (рис. В.9) содержит следующие команды:

Рис. В.9 — Меню *Analysis*

Transient — анализ переходных процессов (временных диаграмм);

AC (Alternative Current) — анализ частотных характеристик (АЧХ и ФЧХ) по переменному току;

DC (Direct Current) — анализ передаточных функций по постоянному току;

Dynamic DC — расчет режима работы по постоянному току и динамическое отображение результатов расчета на схеме;

Transfer Function — расчет передаточной функции, входных и выходных сопротивлений модели по постоянному току;

Sensitivity — расчет чувствительности модели по постоянному току;

Probe Transient, Probe AC, Probe DC — режимы анализа, аналогичные *Transient, AC, DC*, при выполнении которых на одной части экрана отображаются результаты эмуляции, а на другой — модель.

В.8. Окно *Transient Analysis Limits*

При выборе команды **Transient** открывается окно **Transient Analysis** (см. рис. В.10), внутри которого расположено меньшее по размерам окно **Transient Analysis Limits**. Окно **Transient Analysis Limits** состоит из командной строки, (верхняя часть окна), набора окошек для задания режима эмуляции (средняя часть окна) и списка наблюдаемых параметров в виде строк (нижняя часть окна).

В командной строке окна **Transient Analysis Limits** находятся кнопки следующих команд:

Run — запустить процесс эмуляции;

Add — добавить новую строку в списке наблюдаемых параметров;

Delete — удалить строку в списке наблюдаемых параметров;

Expand — расширить окно ввода данных (**XExpression**, **YExpression**, **XRange**, **YRange**);

Stepping — открыть окно пошаговое изменение параметров модели;

Properties — открытие окна для изменения его свойств;

Help — вызов помощи, встроенной в программу.

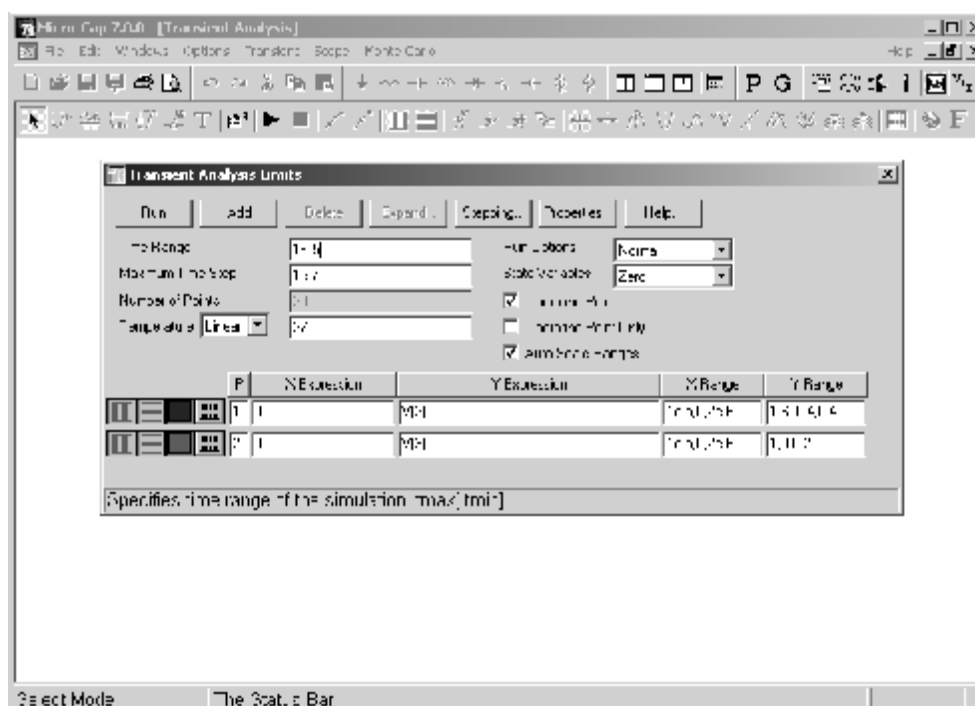


Рис. В.10 — Окно **Transient Analysis** перед выполнением эмуляции

Режим анализа временных диаграмм задается следующими параметрами:

Time Range — временной диапазон;

Maximum Time Step — интервал (шаг) дискретизации;

Temperature — температурный диапазон;

P — номер диаграммы;

XExpression — наименование переменной, откладываемой по оси **X**;

YExpression — наименование или выражение для величины, откладываемой по оси **Y**;

XRange, YRange — диапазоны анализа величин X и Y соответственно.

Operating Point — расчет напряжений и токов по постоянному току;

Auto Scale Ranges — автоматический выбор масштаба по оси Y диаграмм.

В первой строке окна **Transient Analysis** расположены кнопки: **File, Edit, Windows, Options, Transient, Scope, Monte Carlo**.

Меню **Transient** (см. рис. В.11) содержит следующие основные команды:

Transient	Scope	Monte Carlo
Run		F2
Limits...		F9
Stepping...		F11
Optimize...		Ctrl+F11
✓ Analysis Window		F4
Watch		Ctrl+W
Breakpoints...		Alt+F9
3D Windows		
Performance Windows		
Numeric Output		F5
State Variables Editor...		F12
DSP Parameters...		
Reduce Data Points...		
Exit Analysis		F3

Рис. В.11 — Меню **Transient**

Run — пуск, определяющий начало эмуляции, после нажатия которой появляются диаграммы исследуемых величин;

Limits — открыть окно **Transient Analysis Limits** для задания режима эмуляции;

Stepping — открыть окно для задания пошаговое изменение параметров отдельных компонентов модели;

Optimise — открыть окно для выбора параметров режима оптимизации модели.

Остальные команды данного меню носят вспомогательный характер.

Меню **Scope** содержит команды, которые позволяют удалить графические объекты, добавленные при анализе результатов моделирования (временных и частотных диаграмм), и выполнить автоматическое масштабирование временных диаграмм;

Меню **Scope** содержит следующие основные команды:

Delete All Objects — удалить все объекты, добавленные при анализе диаграмм;

Auto Scale — выполнить автоматическое масштабирование диаграмм;

Restore Limit Scale — восстановить исходный масштаб диаграмм;

Другие команды данного меню позволяют выполнять более детальный анализ исследуемых характеристик модели.

Программа **Micro-Cap** позволяет исследование изменение характеристик модели при случайных изменениях параметров элементов (сопротивлений, емкостей, индуктивностей и т. п.) в соответствии с методом статистических испытаний **Monte Carlo**.

Кнопка **Monte Carlo** открывает меню, содержащее команды:

Options — открыть окно в котором задаются закон распределения варьируемых параметров элементов модели, а также выражение для анализируемого параметра исследуемой характеристики модели (временной диаграммы, АЧХ, ФЧХ и т. п.);

Histograms — добавить или удалить гистограмму анализируемого параметр;

Statistics — вывести на экран результаты статистического анализа.

Запуск эмуляции осуществляется либо с помощью кнопки **Run** из окна **Transient Analysis Limit**, либо с помощью команды **Run** из меню **Transient** либо, с помощью кнопки ► из строки инструментов окна **Transient Analysis**.

В.9. Окна *AC*, *DC*, *Probe Transient*, *Probe AC*, *Probe DC*

Окна *AC*, *DC*, *Probe Transient*, *Probe AC*, *Probe DC* имеют вид и систему команд, аналогичные окну *Transient*.

Окно *AC* предназначено для анализа частотных характеристик модели. Окна *DC*, *Probe Transient*, *Probe AC*, *Probe DC* в работе не используются.

В.10. Меню *Design*



Рис. В.12 —
Меню *Design*

Кнопка *Design* (Конструирование фильтров) открывает меню из двух команд (рис В.12): *Active Filters* — синтез активных фильтров, *Passive Filters* — синтез пассивных фильтров. Указанные команды в данной лабораторной работе не используются.

В.11. Меню *Help*

Меню Кнопка *Help* (Помощь) содержит команды для вызова помощи, встроенной в программу, а также обучающие демонстрационных материалов *Demo* позволяют наблюдать на экране монитора действия, выполняемые при создании моделей, их запуске и анализе результатов моделирования.

В.12. Создание модели электрической цепи

В.12.1 Для создания модели электрической цепи с помощью программы *MicroCap* необходимо запустить эту программу,



Рис. В.13 — Пиктограмма
программы *MicroCap*

для чего на рабочем столе монитора привести курсор на пиктограмму (рис. 7.8) и щелкнуть левой клавишей мыши. Для создания нового рабочего окна необходимо в меню *File* выбрать команду *New*, в открывшемся окне с таким же названием поставить отметку в строке *Schematic* и щелкнуть

кнопку *OK*.

В.12.2 Модель цепи создается в открывшемся рабочем окне (см. рис. Б.1) из библиотечных компонентов программы.

Внимание! При создании любой модели необходимо обязательно использовать символ общего провода (земля) $\perp$, при отсутствии которого программа *MicroCap* выводит окно с указанием ошибки.

В.12.3. Для поворота компонента, расположенного на рабочем поле схемы, необходимо привести на него курсор, нажать левую клавишу мыши и, не отпуская ее, щелкать правой клавишей. Каждый щелчок вызывает поворот графического изображения компонента на 90° .

В.12.4. Для соединения компонентов проводниками под прямыми углами используется команда *Wire Mode*, а под косыми углами — команда *Diagonal Wire Mode*, которые могут быть вызваны либо из строки инструментов кнопками  и , либо из командной строки по пути *Option—Mode—Wire* или *Option—Mode—WireD* соответственно.

В.12.5. Для индикации номеров узлов используется команда *Node Num-*

bers, кнопка которой  находится в строке инструментов рабочего окна модели. После наведения курсора на эту кнопку и щелка левой клавишей мыши, рядом с каждым узлом схемы индицируется его номер. Знание номеров узлов позволяет правильно указывать узловые напряжения в окнах **Transient Analysis** и **AC Analysis**.

В.12.6. Численные значения параметров в программе **Micro-Cap** задают без указания их размерности, используя **точку в качестве разделителя** целой и дробной частей числа.

В таблице В.3 представлены наиболее употребительные сокращения обозначений целых степеней 10, используемые в программе **Micro-Cap**, а также их наименования на русском языке.

Таблица В.3 — Сокращенные обозначения целых степеней по основанию 10, используемые в программе **MicroCap**

Обозначение, используемое в программе MicroCap	Наименование	Число
F	фемто	10^{-15}
P	пико	10^{-12}
N	нано	10^{-9}
U	микро	10^{-6}
M	милли	10^{-3}
K	кило	10^3
MEG	мего	10^6
G	гиго	10^9
T	тера	10^{12}

Примечание.

Сокращенные обозначения целых степеней записываются без пробелов прописными или строчными буквами.

Примеры записи численных значений в программе **MicroCap**:

- сопротивление 103 Ом: 103, 1.03e2, .103K, 0.103k;
- емкость 255 мкФ: 0.255m, 2.55e-4, 255e-6, 255U;
- индуктивность 3,2 мкГн: 3.2u, 3.2e-6, 0.0032M.

Заказ № _____ от “ _____ ” _____ 2009 г. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ