

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Новгородский государственный университет имени Ярослава
Мудрого»**

ПРИЕМ И ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛОВ

Лабораторный практикум

Великий Новгород

2014

УДК 621.391.

Печатается по решению
РИС НовГУ

Р е ц е н з е н т

кандидат технических наук,
начальник отделения ОАО «НИИ ПТ Растр» **А. В. Кузнецов**

Прием и обработка радиосигналов: Лабораторный практикум. /
сост. А. В. Социлин; НовГУ им. Ярослава Мудрого. Великий
Новгород, 2014. 45с.

В лабораторный практикум включены работы «Исследование входных цепей», «Исследование преобразователей частоты», «Исследование амплитудных детекторов», «Исследование цепей автоматической регулировки усиления». В пособии изложены краткие теоретические сведения, принцип действия лабораторных установок, методика измерений характеристик узлов РПУ, порядок выполнения работы и контрольные вопросы.

Предназначены студентам, изучающим курс «Прием и обработка радиосигналов» по направлениям подготовки 11.03.01 (210400.62) – Радиотехника.

УДК 621.391.

© Новгородский
государственный
университет, 2014
© А. В. Социлин, составление,
2014

Содержание

1. Исследование входных цепей
 2. Исследование преобразователей частоты
 3. Исследование амплитудных детекторов.
 4. Исследование схем автоматической регулировки усиления
- Литература

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОДНЫХ ЦЕПЕЙ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В работе проводится исследование различных схем входных цепей транзисторных радиоприемных устройств. В ходе исследований определяются зависимости резонансного коэффициента передачи, полосы пропускания, избирательности по зеркальному и прямому каналам, коэффициент перекрытия диапазона входных цепей при различной связи с антенной, а также влияние отдельных параметров контуров и элементов связи на характеристики входных цепей.

2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Входной цепью (в дальнейшем ВЦ) называется часть схемы РПУ между точками подключения антенны и первого активного элемента (Рисунок 1.1).



Рисунок 1.1

ВЦ принято классифицировать:

- по числу частотно избирательных элементов;
- по способу настройки;
- по способу связи с антенной.

В настоящей работе исследуются одноконтурные ВЦ с плавной настройкой и следующими видами связи с антенной:

- трансформаторной (индуктивной);
- внешнеемкостной;
- внутриемкостной;
- комбинированной.

Основные характеристики входных цепей

Коэффициент передачи напряжения – отношение выходного напряжения \dot{U}_2 к ЭДС в антенне \dot{E}_A

$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{E}_A}$$

Модуль коэффициента передачи на частоте настройки f_0 принято называть резонансным коэффициентом передачи

$$K = \left. \frac{U_2}{E_A} \right|_{f=f_0}$$

Избирательность ВЦ – степень уменьшения коэффициента передачи напряжения при заданной расстройке по сравнению с резонансным.

$$\sigma = \frac{K_0}{K}$$

Одна из задач ВЦ, которая решается совместно с УВЧ, – это обеспечение заданной избирательности РПУ по зеркальному каналу (Рисунок 1.2):

$$f_{ЗК} = f_H + 2 f_{ПР} ,$$

где f_H – частота настройки,
 $f_{ПР}$ – промежуточная частота.

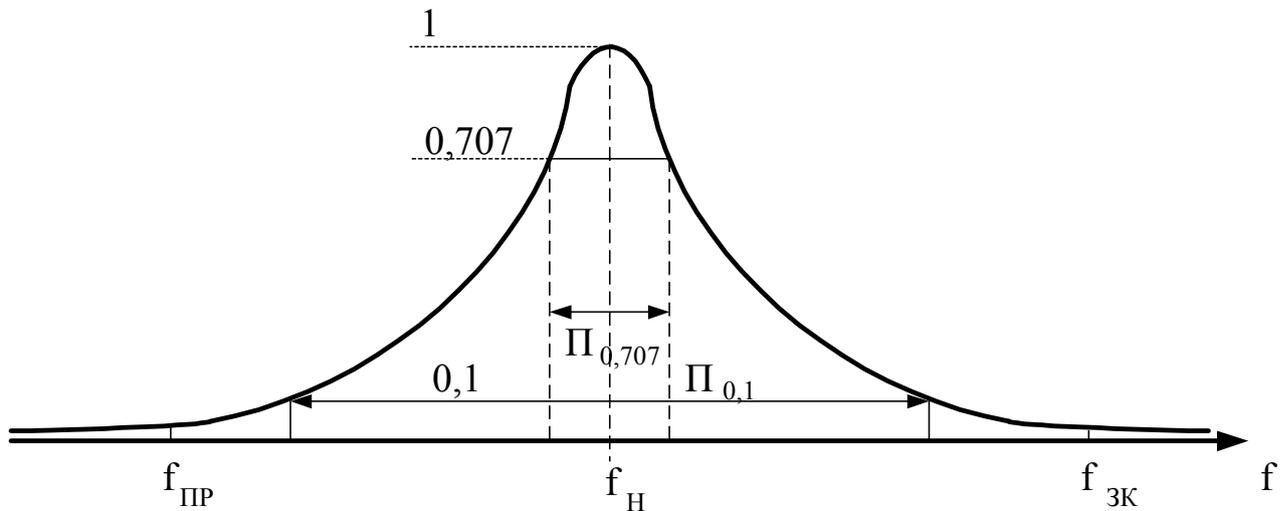


Рисунок 1.2

Полоса пропускания Π – ширина области частот, в пределах которой сохраняется допустимая неравномерность коэффициента передачи. Чаще всего полоса пропускания определяется по уровню -3дБ или 0,707 – $\Pi_{0,707}$ (рисунок 1.2).

Перекрытие заданного диапазона частот характеризуется коэффициентом перекрытия диапазона – отношением максимальной частоты настройки к минимальной:

$$K_D = \frac{f_{HMAX}}{f_{HMIN}}$$

В пределах заданного диапазона частот ВЦ должна обеспечивать настройку на любую частоту, и при этом ее основные показатели не должны заметно меняться.

Коэффициент прямоугольности – отношение полосы пропускания по заданному уровню ($\Pi_{0,1}, \Pi_{0,01}$) к полосе пропускания по уровню -3дБ ($\Pi_{0,707}$) (рисунок 1.2).

$$K_{PP} = \frac{\Pi_{0,1(0,01)}}{\Pi_{0,707}}$$

В идеальной входной цепи $K_{PP} = 1$.

Зависимость основных характеристик от частоты настройки.

$$(K_0, \Pi, \sigma, K_{PP}) = \varphi(f_H)$$

Постоянство показателей ВЦ при изменении параметров антенны и активного элемента.

Краткая характеристика исследуемых входных цепей.

ВЦ с внешнеемкостной связью

При внешнеемкостной связи антенна подключается к контуру через конденсатор C_4 (Рисунок 1.3).

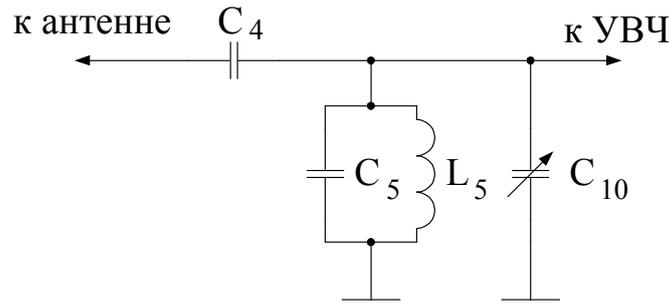


Рисунок 1.3

Малая величина емкости конденсатора C_4 позволяет ослабить вызываемые антенной потери избирательности и сдвиг настройки контура ВЦ.

Достоинством ВЦ с внешнеемкостной связью следует признать простоту ее конструктивной реализации.

К недостаткам относится большая неравномерность резонансного коэффициента передачи по диапазону, что препятствует широкому использованию этого вида связи с антенной, и невысокая избирательность по зеркальному каналу.

Внешнеемкостная связь обычно применяется при приеме на фиксированных частотах или при малом коэффициенте перекрытия диапазона.

ВЦ с внутриемкостной связью с антенной

Этот вид связи с антенной обеспечивает большее постоянство коэффициента передачи и полосы пропускания по диапазону. Связь осуществляется посредством емкости C_6 достаточно большой величины (Рисунок 1.4).

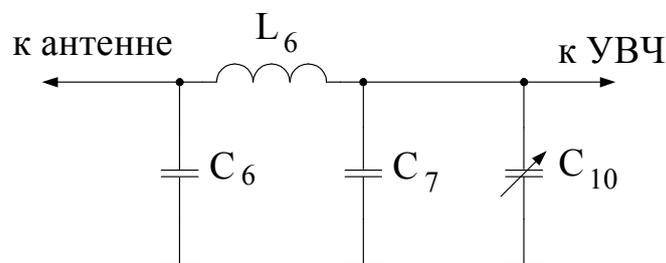


Рисунок 1.4

ВЦ с индуктивной связью с антенной

При индуктивной связи с антенной в схему вводятся вспомогательные катушки индуктивности (L_2 или L_3), слабо связанные с контуром (Рисунок 1.5).

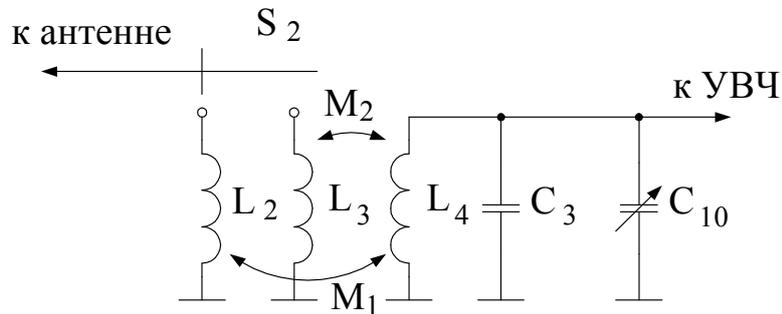


Рисунок 1.5

Дополнительная индуктивность в антенной цепи вызывает появление резонанса в ней на частоте:

$$f_{OA} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{CB} \cdot C_A}}$$

Частота f_{OA} должна лежать вне рабочего диапазона. При этом возможны два случая: $f_{OA} > f_{max}$ – режим укорочения, $f_{OA} < f_{max}$ – режим удлинения. В режиме укорочения индуктивная связь преимуществ по сравнению с внешнеемкостной связью не дает. При очень сильном удлинении ($f_{OA} \ll f_{max}$) коэффициент передачи практически от частоты не зависит, но получается небольшим по величине.

ВЦ с комбинированной связью с антенной

При комбинированном способе связи контура с антенной работают два вида связи одновременно: внешнеемкостная (через C_8) и индуктивная в режиме небольшого удлинения (L_7) – Рисунок 1.6. В результате этого достигается хорошая равномерность коэффициента передачи по диапазону.

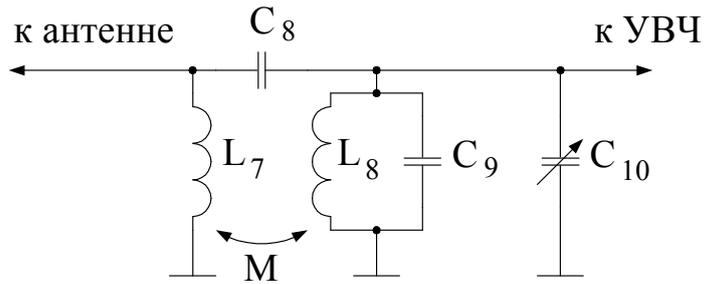


Рисунок 1.6

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В основу метода исследования положено снятие амплитудно-частотных характеристик схем. Амплитудно-частотная характеристика устройства:

$$M(\omega) = \frac{K(\omega)}{K_0}$$

или характеристика избирательности:

$$\sigma = \frac{K_0}{K(\omega)}$$

может быть определена как отношение выходных напряжений на данной частоте настройки и напряжения на зажимах генератора, при условии, что последнее поддерживается постоянным:

$$M(\omega) = \frac{U(\omega)}{U_0},$$

$$\sigma = \frac{U_0}{U(\omega)}.$$

Полоса пропускания определяется по АЧХ на уровне -3дБ или 0.707 U_0 . Избирательность по заданной частоте определяется по кривой избирательности (см. определение избирательности и рисунок 2)

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

В лабораторной работе используются два макета. В первом, принципиальная схема которого приведена на Рисунке 1.7, исследуются характеристики:

- зависимость резонансного коэффициента передачи от частоты;
- зависимость полосы пропускания от частоты настройки;
- избирательность по прямому и зеркальному каналу;
- коэффициент перекрытия диапазона.

Второй макет (Рисунок 1.8) служит для исследования влияния способов настройки ВЦ на перечисленные выше характеристики, а также позволяет рассчитать коэффициент прямоугольности и оценить влияние конструктивных элементов на частоту настройки контура.

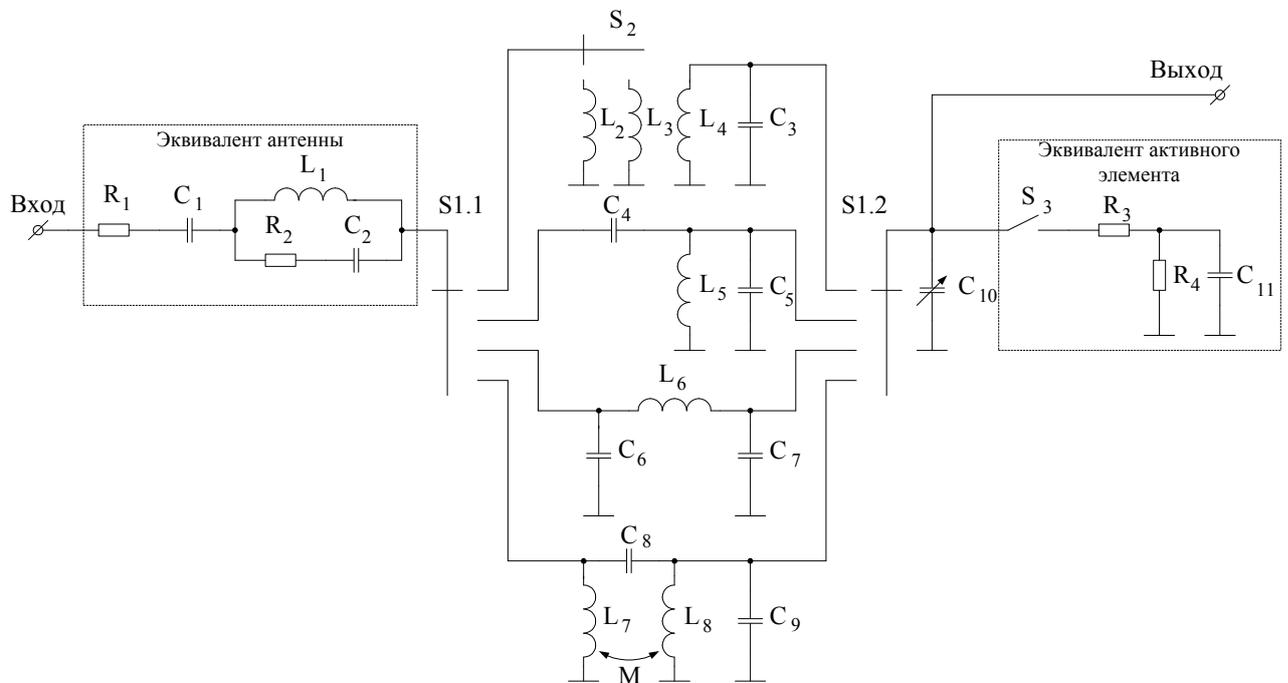


Рисунок 1.7

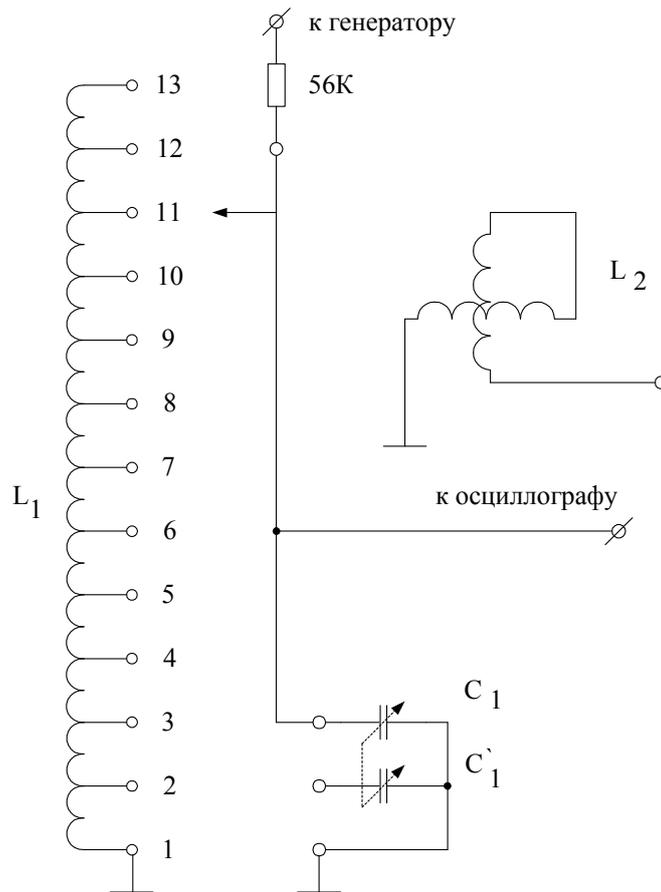


Рисунок 1.8

Лабораторная установка собирается по следующим схемам:

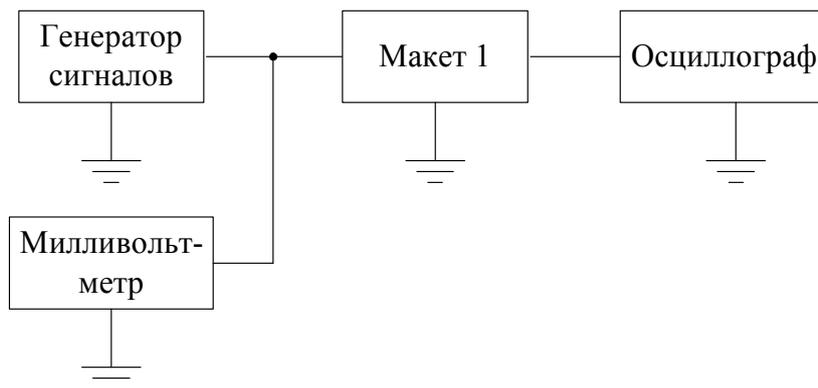


Рисунок 1.9

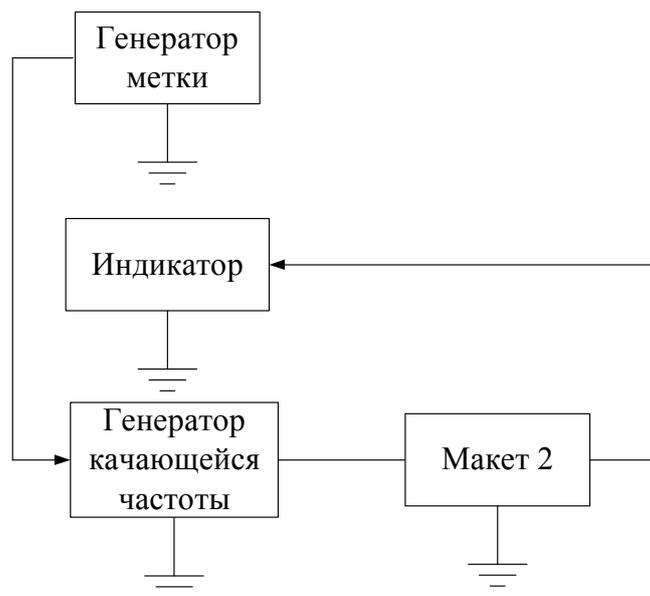


Рисунок 1.10

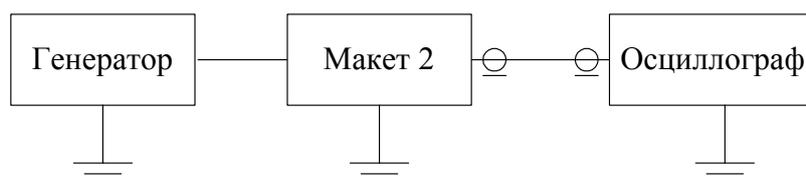


Рисунок 1.11

Таблица 1.1 Оцифровка элементов макета 2

Катушка L1, мкГн		Катушка L2, мкГн		Конденсатор C1 – на одну секцию, пФ	
1	--	0	97	5	470
2	70	10	100	10	400
3	250	20	110	15	320
4	400	30	120	20	245
5	560	40	140	25	190
6	780	50	100	30	145
7	1050	60	185	35	110
8	1300	70	200	40	73
9	1600	80	215	45	42

10	1950	90	225	50	22
11	2000	95	230		
12	2200				
13	2450				

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При подготовке к выполнению работы внимательно изучите соответствующие разделы рекомендованной литературы. До включения приборов проверьте наличие заземления!

6. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

- 6.1 Ознакомьтесь с расположением приборов и органов управления на них.
- 6.2 Включите приборы и прогрейте их в течение 10 минут.
- 6.3 На макете 1, по схеме на рисунке 9 снимите зависимость коэффициента передачи ВЦ с внешнеемкостной связью с антенной от частоты на средней частоте диапазона.
- 6.4 Снимите зависимость резонансного коэффициента передачи ВЦ с внешнеемкостной связью с антенной в рабочем диапазоне частот (т.е. в пределах изменения емкости конденсатора переменной емкости). Замеры проведите в пяти точках диапазона.
- 6.5 Снимите зависимость полосы пропускания от частоты на краях и в середине диапазона.
- 6.6 Измерьте избирательность по зеркальному каналу и по промежуточной частоте (частота задается преподавателем по бригадам) на краях рабочего диапазона частот.
- 6.7 Прodelайте пункты 6.2 ... 6.6 для всех видов ВЦ.
- 6.8 Убедитесь во влиянии активного элемента первого каскада РПУ на характеристики ВЦ для одного, указанного преподавателем типа ВЦ (повторите п. 6.3)
- 6.9 Для макета 2 по схеме на рисунке 10 исследуйте влияние способа настройки (переключением L1 или C1) на резонансный коэффициент передачи и полосу пропускания. Исследования проведите в диапазоне частот генератора качающейся частоты.

6.10 На частоте, указанной преподавателем, снимите амплитудно-частотную характеристику контура и определите коэффициент прямоугольности по уровню 0,1.

6.11 На макете 2, по схеме на рис. 11, установите указанные преподавателем номиналы $L1$ ($L2$) и $C1$. Рассчитайте предполагаемую резонансную частоту и проверьте это экспериментально. Объясните полученные расхождения в результатах и сделайте соответствующие поправки.

6.12 Выключите оборудование.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

7.1 Отчет предоставляется один на учебную бригаду.

7.2 В отчете должны быть отражены:

7.2.1 Цель работы;

7.2.1 Схемы электрические принципиальные входных цепей;

7.2.2 Результаты исследования по п. 6.3 и п. 6.8. На одном рисунке должны быть представлены зависимости коэффициента передачи от частоты. Всего 6 графиков в нормированном виде. Нормировку производить для каждой зависимости в отдельности.

7.2.3 Результаты исследования по п. 6.4. На одном рисунке должны быть изображены зависимости резонансного коэффициента передачи от частоты. Всего 5 кривых в нормированном виде. Нормировку производит для каждой зависимости в отдельности.

7.2.4 Результаты по п. 6.5. На одном рисунку должны быть изображены зависимости полосы пропускания на краях и в середине диапазона рабочих частот. Всего 5 кривых.

7.2.5 Результаты по п. 6.6. Значения избирательности по каналу промежуточной частоты и зеркальному каналу для краев диапазона для всех схем ВЦ. Всего 20 значений. Величины необходимо выразить в децибелах.

7.2.6 Результаты по п.6.9. На одном рисунке должны быть изображены зависимости резонансного коэффициента передачи от частоты при перестройке дискретно – катушкой индуктивности и плавно – конденсатором переменной емкости. Всего 2 графика в нормированном виде. Нормировку проводить для каждого случая в отдельности.

7.2.7 Результаты по п.6.9. На одном рисунке изобразить зависимости полосы пропускания от частоты при перестройке дискретно – катушкой индуктивности и плавно – конденсатором переменной емкости. Всего 2 графика.

7.2.8 Результаты по п. 6.10. Необходимо изобразить одну зависимость АЧХ и рассчитать одно значение K_{Π} .

7.2.9 Результаты по п.6.11. Необходимо представить расчеты резонансной частоты с указанными номиналами, результаты измерений и скорректированные результаты расчетов.

7.2.10 По результатам п. 6.4 рассчитайте коэффициенты перекрытия по диапазону. Всего 5 значений.

7.2.11 Выводы по работе.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

8.1 Что называется входной цепью и каково ее назначение?

8.2 Какие схемы ВЦ Вы знаете?

8.3 Назовите основные параметры и характеристики ВЦ.

8.4 Что называется резонансным коэффициентом передачи ВЦ?

8.5 Как изменяется резонансный коэффициент передачи по диапазону для различных видов ВЦ?

8.6 Как изменяется полоса пропускания от частоты?

8.7 Какие способы настройки входных цепей Вам известны?

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

В работе исследуются три типа преобразователей частоты: однотоктный диодный (Рисунок 2.1), транзисторный (Рисунок 2.2) и двойной балансный преобразователь на ИМС К174ПС1 (Рисунок 2.3). Целью работы является изучение принципов построения преобразователей частоты и их характеристик.

2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Преобразователем частоты (Пр.Ч.) называется устройство, в котором происходит изменение частоты несущих колебаний сигнала.

Преобразователи частоты на транзисторах можно разделить на две группы:

- преобразователи с отдельным гетеродином;
- преобразователи с совмещенным гетеродином.

В первом случае функции смесителя и гетеродина выполняют различные транзисторы, что позволяет обеспечить наилучшие условия преобразования. Во втором случае функции смесителя и гетеродина выполняет один элемент, что затрудняет подбор оптимальных режимов.

По способу подведения напряжения сигнала и гетеродина Пр.Ч. можно разделить на Пр.Ч. с подведением напряжения сигнала и гетеродина в цепи одного электрода и на Пр.Ч. с подведением напряжений на различные электроды. В первом случае целесообразной является схема с подачей напряжения в цепь базы. Во втором случае напряжение сигнала выгоднее подавать в цепь базы, а напряжение гетеродина в цепь эмиттера, что обеспечивает большую стабильность и улучшает развязку гетеродина со входными цепями РПУ.

Из-за нелинейности вольт-амперных характеристик транзистора эквивалентные параметры преобразователя для слабых сигналов с частотой f_C меняются под воздействием напряжения гетеродина с частотой f_G . Вследствие этого в коллекторной цепи смесителя образуются составляющие коллекторного тока с частотами

$$\left| \pm m \cdot f_C \pm n \cdot f_G \right|,$$

где m, n – любые целые числа, включая 0.

Включив в коллекторную цепь частотно-избирательный фильтр, можно выделить одну из этих частот. Наибольшее выходное напряжение будет достигнуто в случае совпадения частоты одной из составляющих компонент тока в цепи коллектора с частотой настройки фильтра. Эта частота называется промежуточной – $f_{ПР}$.

При неизменной частоте гетеродина $f_{Г}$ в $f_{ПР}$ может быть преобразован целый ряд гармонических колебаний (помех и сигналов), воздействующих на вход смесителя.

Частотной характеристикой Пр.Ч. называется зависимость его выходного напряжения от частоты входного сигнала при неизменной частоте гетеродина. Частотная характеристика Пр.Ч. получается многогорбой.

Максимумы частотной характеристики, т.е. частоты основного и дополнительного каналов приема, при больших амплитудах входного сигнала должны удовлетворять выражению:

$$f_{„} = \left| \frac{n}{m} \cdot f_{\partial} \pm \frac{1}{m} \cdot f_{nm} \right|.$$

При малых амплитудах сигнала (в линейном режиме):

$$f_{C} = \left| n \cdot f_{Г} \pm f_{ПР} \right|.$$

Теоретически существует бесконечное количество каналов приема. Но коэффициент передачи Пр.Ч. быстро падает с ростом n , и особенно с ростом m . Наиболее опасным является зеркальный канал приема:

$$f_{ЗК} = f_{C} + 2 \cdot f_{ПР}.$$

Вместе с тем, при неизменной частоте сигнала промежуточная частота может быть получена при различных частотах гетеродина.

$$f_{Г} = \left| \frac{m}{n} \cdot f_{C} \pm \frac{1}{n} \cdot f_{ПР} \right|.$$

Амплитудной характеристикой Пр.Ч. называется зависимость напряжения промежуточной частоты на выходе от напряжения сигнала на входе. Напряжение промежуточной частоты пропорционально напряжению сигнала при его малых значениях. Для сильных сигналов пропорциональность нарушается. В огибающей напряжения промежуточной частоты появляются искажения. Линейность амплитудной характеристики для малых сигналов позволяет считать Пр.Ч. линейным устройством для напряжения сигнала.

В случае, если одна из комбинационных частот оказывается близкой к промежуточной (попадает в полосу пропускания УПЧ), возникают свисты. Частота их удовлетворяет условию при $f_{Г} > f_{С}$:

$$f_{CB} = f_{ПР} \cdot \frac{n \pm 1}{m - n}$$

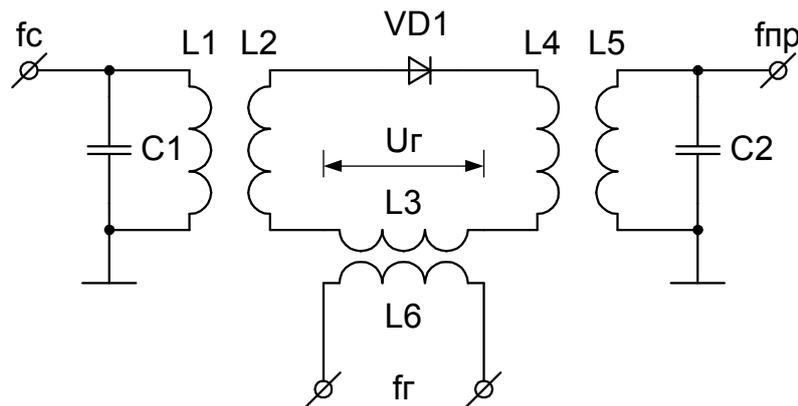


Рисунок 2.1

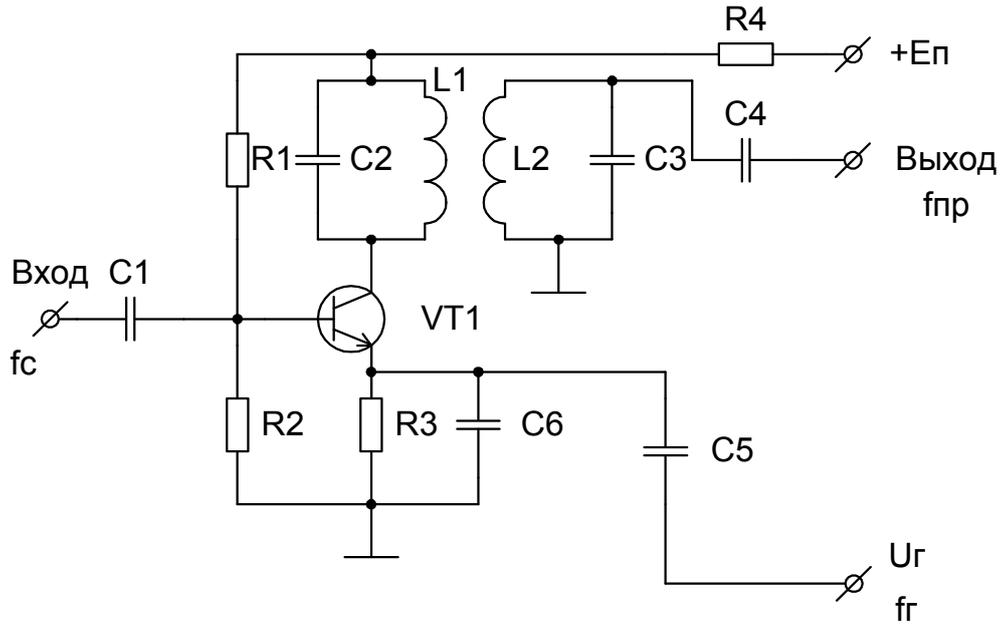


Рисунок 2.2

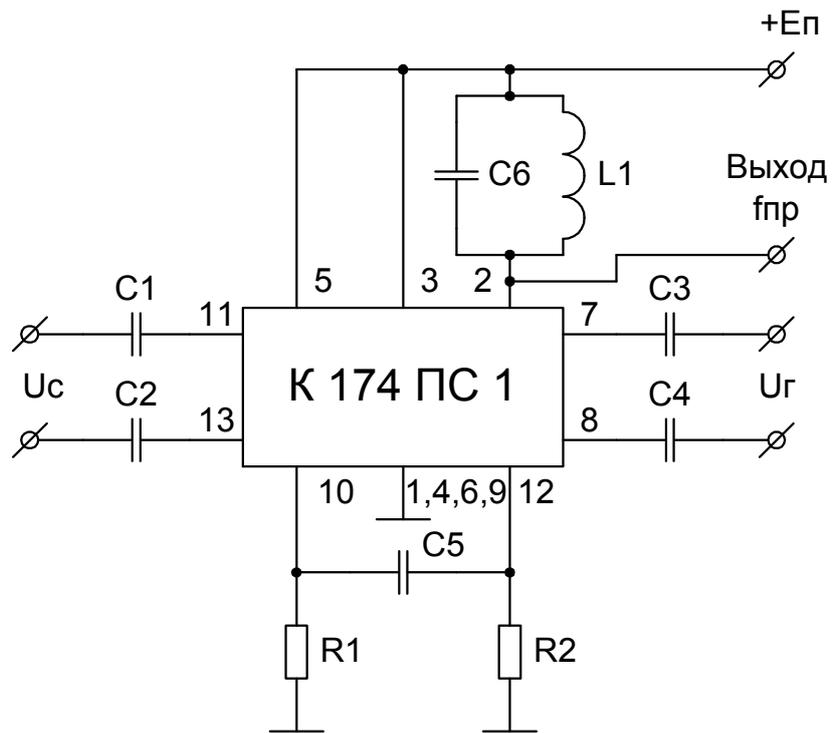


Рисунок 2.3

Преобразователям частоты типа изображенных на Рисунке 2.2 свойственны недостатки, состоящие во взаимном влиянии настройки контуров преселектора и гетеродина – «захват частоты» гетеродина,- и появлении на выходе преобразователя шумов гетеродина, и др. От этих недостатков свободны балансные преобразователи частоты. Для одноконтурных диодных Пр.Ч. свойственно обратное преобразование частоты.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Принципиальные схемы Пр.Ч. приведены на рисунках 1÷3. Лабораторная установка собирается по схема Рисунке 2.4.

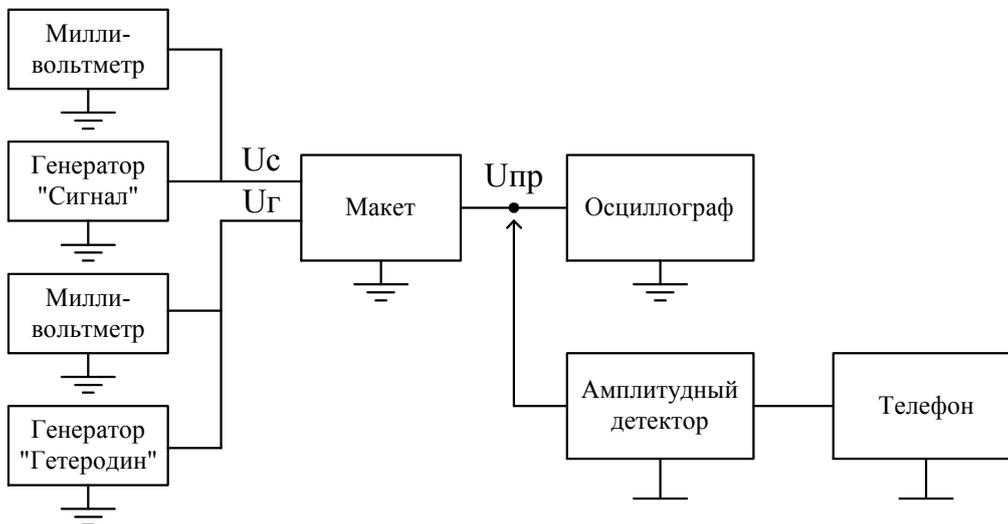


Рисунок 2.4

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При подготовке к выполнению работы следует внимательно изучить соответствующие разделы рекомендованной литературы.

До включения установки убедитесь в наличии надежного заземления и правильности подключения оборудования (Рисунок 2.4)

5. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

5.1 После ознакомления с установкой включите приборы и прогрейте их в течение 10 минут.

- 5.2 Измерьте значение промежуточной частоты на выходе Пр.Ч. на транзисторе.
- 5.3 Получите от преподавателя значение частоты $f_{Г}$.
- 5.4 Рассчитайте частоты ожидаемых каналов приема ($m = 1 \div 5$, $n = 0 \div 5$).
- 5.5 Снимите частотные характеристики при $U_C = 10 \div 30$ мВ и $U_C = 300 \div 600$ мВ, $U_{Г} = 150 \div 300$ мВ, $f_{Г}$ – из п. 5.3.
- 5.6 Убедитесь, что один и тот же сигнал может быть преобразован в промежуточную частоту при различных частотах гетеродина. Значение f_C получите у преподавателя.
- 5.7 Снимите амплитудную характеристику преобразователя на транзисторе для двух значений $U_{Г}$. Значение $U_{Г}$ получите у преподавателя. U_C изменяйте в пределах от 1 мВ до 1 В.
- 5.8 Рассчитайте значения частот, при которых возможен свист в преобразователе частоты. Убедитесь в их наличии.
- 5.9 Ознакомьтесь с работой диодного преобразователя и преобразователя на ИМС. (см. п.п. 5.4, 5.5).
- 5.10 Выключите оборудование.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ.

- 6.1 Отчет оформляется один на учебную бригаду. В отчете должно быть отражено:
- 6.1.1 Цель работы:
- 6.1.2 Схемы преобразователей частоты и установки.
- 6.1.3 Значение промежуточной частоты.
- 6.1.4 Расчеты каналов приема по п. 5.4 для заданного преподавателем значения $f_{Г}$.
- 6.1.5 Частотные характеристики (2 зависимости).
- 6.1.6 Спектрограммы преобразования для различных значений $f_{Г}$ и заданного преподавателем значения f_C .
- 6.1.7 Амплитудные характеристики (2 графика).
- 6.1.8 Рассчитанные значения частот, при которых в преобразователе возникает свист.
- 6.1.9 Результаты исследования работы диодного преобразователя (2 зависимости) и преобразователя на ИМС (2 зависимости) (см. пункты 5.4, 5.5).
- 6.1.10 Выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Каково назначение преобразователя частоты?

- 7.2 На каких элементах можно выполнить преобразователь частоты?
- 7.3 В чем достоинство преобразователя с отдельным гетеродином?
- 7.4 Что такое частотная характеристика преобразователя?
- 7.5 Что такое амплитудная характеристика преобразователя?
- 7.6 В чем состоит особенность частотной характеристики преобразователя?
- 7.7 Какова причина возникновения свистов в преобразователе частоты?
- 7.8 В чем причина возникновения дополнительных каналов приема?
- 7.9 Что такое зеркальный канал? Приведите пример.
- 7.10 Что означает линейность (нелинейность) преобразователя частоты?
- 7.11 Что такое прямой канал приема? Как его можно ослабить? Приведите пример схемы.
- 7.12 Почему промежуточная частота выбирается вне диапазона принимаемых частот?
- 7.13 Назовите особенности одноконтурного диодного и двойного балансного преобразователя частоты.
- 7.14 Из каких соображений выбирается значение промежуточной частоты?
- 7.15 Для достижения каких целей применяется многократное преобразование частоты?

3. ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

В работе исследуются основные характеристики последовательного амплитудного детектора на полупроводниковом диоде. Исследования проводятся в широком диапазоне сигналов, охватывающем области как линейного, так и квадратичного детектирования. Работа дает представление о принципах построения амплитудных детекторов на транзисторах.

2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Основное назначение амплитудного детектора – преобразование модулированного по амплитуде высокочастотного колебания в напряжение, изменяющегося по закону модуляции.

Свойства нелинейного элемента характеризуются семейством выпрямительных характеристик, представляющих собой зависимость постоянной составляющей тока I_{ω} , протекающего через диод, от приложенного к диоду постоянного напряжения U_{ω} при неизменной амплитуде U_{ω} переменного напряжения входного немодулированного сигнала.

$$I_{\omega} = \varphi_1(U_{\omega}) \Big|_{U_{\omega} = \text{const}}$$

При $U_{\omega} = 0$ выпрямительная характеристика является статистической вольтамперной характеристикой диода.

Детекторная характеристика - это зависимость приращения постоянной составляющей тока диода ΔI_{ω} от амплитуды входного напряжения.

$$\Delta I_{\omega} = I_{1\omega} - I_{0\omega} = \varphi_2(U_{\omega}) \Big|_{U_{\omega} = \text{const}},$$

где $I_{1\omega}$ и $I_{0\omega}$ – постоянные составляющие тока, соответствующие $U_{\omega} = U_{\omega 1}$ и $U_{\omega} = 0$.

При $U_{\omega} = 0$ $\Delta I_{\omega} = 0$, поэтому детекторная характеристика проходит через начало координат.

Детекторная характеристика характеризует не только нелинейный элемент, но и схему детектора в целом, включая сопротивление нагрузки и шунтирующую емкость.

Свойства нелинейного элемента удобно характеризовать рядом параметров:

S_d – крутизна характеристики;

R_{id} – внутреннее сопротивление;

μ_d – внутренний коэффициент усиления.

Данные параметры могут быть определены по семейству выпрямительных характеристик в рабочей точке при малых приращениях параметра:

$$S_d = \left. \frac{\Delta I_{\omega}}{\Delta U_{\omega}} \right|_{U_{\omega} = const},$$

$$R_{id} = \left. \frac{\Delta U_{\omega}}{\Delta I_{\omega}} \right|_{U_{\omega} = const},$$

$$\mu_d = \left. \frac{\Delta U_{\omega}}{\Delta U_{\omega}} \right|_{I_{\omega} = const}.$$

Важными показателями, характеризующими весь амплитудный детектор в целом, являются коэффициент передачи K_d и входное сопротивление $R_{вх}$.

Коэффициент передачи может быть определен из выражения :

$$K_d = \frac{U_{\Omega}}{m \cdot U_0}$$

где U_{Ω} – амплитуда выходного напряжения, частоты модуляции,
 m – глубина модуляции.

Через параметры детектора и сопротивление нагрузки

$$K_d = \mu_d \cdot m \cdot \frac{R_H}{R_{id} + R_H}$$

Входным сопротивлением детектора называют отношение амплитуды подводимого к детектору напряжения к амплитуде первой гармоники входного тока:

$$Z_{BX} = \frac{U_{\omega}}{I_{\omega}}$$

Входное сопротивление является важной характеристикой, так как его активная составляющая $R_{вх}$ оказывает шунтирующее действие на колебательные системы каскадов промежуточной частоты и тем самым влияет на избирательные свойства и полосу пропускания УПЧ. Для сильных сигналов $R_{вх} \approx R_H/2$.

Нелинейные искажения в диодном амплитудном детекторе обусловлены тремя причинами:

- нелинейностью детекторной характеристики;
- инерционностью детектора;
- различием между сопротивлением нагрузки постоянному и переменному току.

Количественно нелинейные искажения характеризуются коэффициентом гармоник.

В РПУ наряду с диодными детекторами (Рисунок 3.1) находят применение и амплитудные детекторы на транзисторах. Основным достоинством их является больший, чем у диодных, коэффициент передачи. Но транзисторные детекторы вносят большие нелинейные искажения из-за большей нелинейности детекторной характеристики.

В схемотехнике транзисторных амплитудных детекторов различают коллекторные (Рисунок 3.2), эмиттерные (Рисунок 3.3) и базовые детекторы. Название определяется местом включения фильтра. Коллекторный детектор имеет большой коэффициент передачи, невысокое входное сопротивление и большой коэффициент гармоник (до 15%). Эмиттерный детектор имеет высокое входное сопротивление и коэффициент передачи $K_d < 1$. Базовый детектор в чистом виде не используется. Чаще всего встречается комбинированная коллекторно-базовая схема (Рисунок 3.4), которая позволяет расширить диапазон входных напряжений по сравнению с коллекторной.

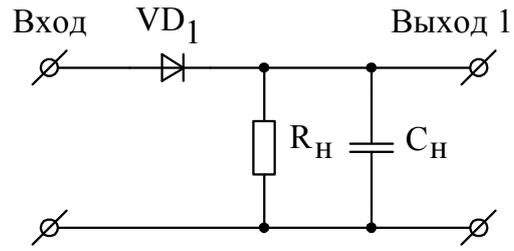


Рисунок 3.1

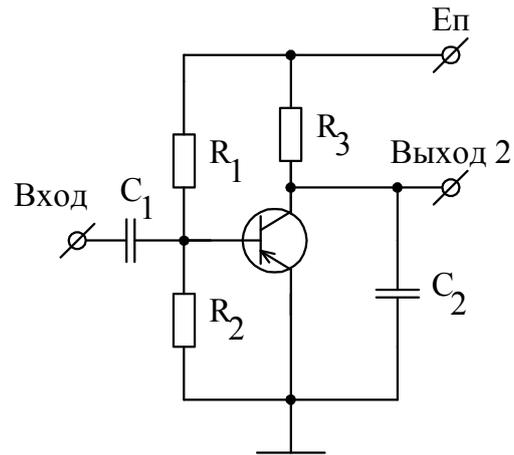


Рисунок 3.2

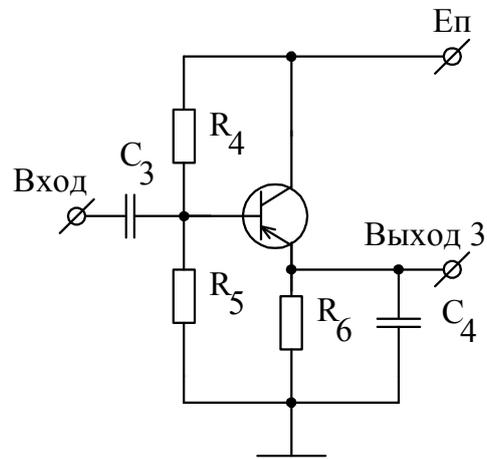


Рисунок 3.3

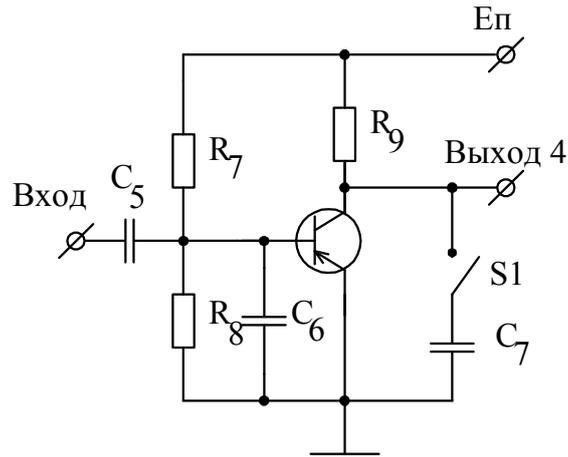


Рисунок 3.4

3 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

В работе исследуются характеристики выпрямления и детекторная характеристика диодного амплитудного детектора.

Схема измерения представлена на Рисунок 3.5

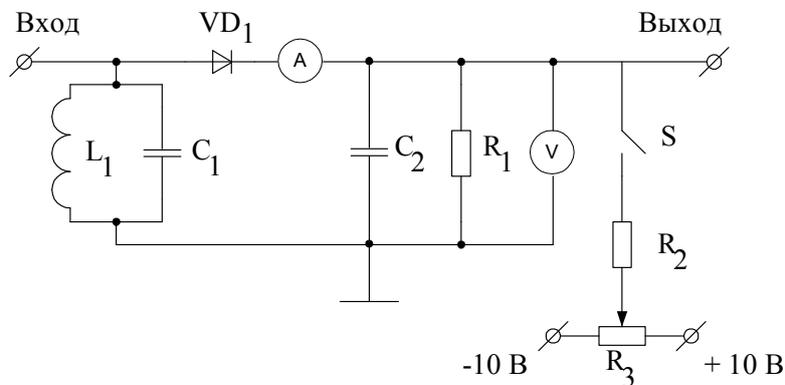


Рисунок 3.5.

При снятии выпрямительных характеристик ток через детектор изменится до 1 мА. Входное напряжение следует изменять от 0 до 1 В. При снятии выпрямительной характеристики $m = 0$, а для детекторной характеристики $m = 0,3$.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

При подготовке к выполнению лабораторной работы внимательно изучите соответствующие разделы рекомендованной литературы.

До включения установки убедитесь в наличии надежного заземления и правильности подключения оборудования (Рисунок 3.6)

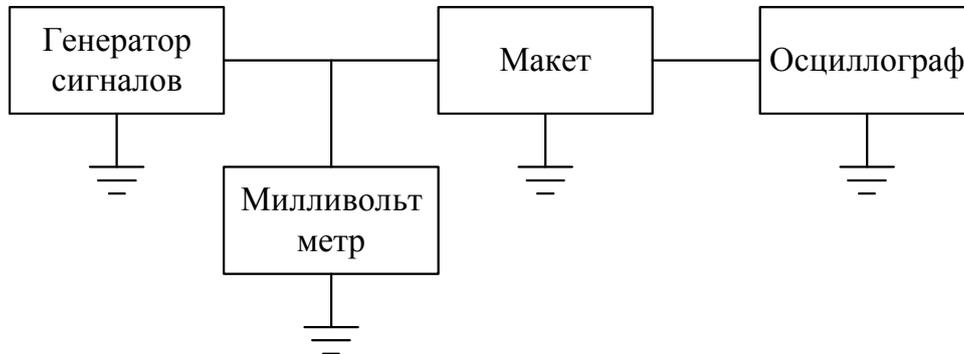


Рисунок 3.6

5 ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ.

5.1 После ознакомления с установкой включите и прогрейте приборы в течение 10 минут.

5.2 Снимите и постройте семейство выпрямительных характеристик диодного детектора для одного значения нагрузки ($f_{\text{ДПР}} = 465 \text{ кГц}$, $m=0$) при $U_{\sigma} = 0$, $U_{\sigma} = U_{\sigma 1}$, $U_{\sigma 2}$, $U_{\sigma 3}$ (4 зависимости).

5.3 Снимите и постройте семейство детекторных характеристик при разных сопротивлениях нагрузки ($f_{\text{ДПР}} = 465 \text{ кГц}$, $m = 0,3$) (3 зависимости).

5.4 Измерьте и сравните коэффициент передачи диодного детектора при малых сигналах ($U_{\sigma} \leq 0,1 \text{ В}$, $m = 0,3$) и при больших сигналах ($U_{\sigma} \geq 0,8 \text{ В}$, $m = 0,3$).

5.5 По семейству детекторных характеристик рассчитайте параметры S_d , R_{id} , μ_d , а по значению K_d для сильных сигналов определите угол отсечки θ . По полученному θ рассчитайте μ_d и сравните его с измеренным.

5.6 Зарисуйте осциллограммы выходного напряжения при подаче на вход модулированного колебания при различных сопротивлениях нагрузки по постоянному и переменному току и при различных коэффициентах модуляции.

5.7 Ознакомьтесь с принципом построения транзисторных детекторов. Зарисуйте осциллограммы выходного напряжения. Измерьте коэффициент передачи.

5.8 Выключите оборудование.

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

6.1 Отчет оформляется один на учебную бригаду.

6.2 Отчет должен содержать:

6.2.1 Цель работы.

6.2.2 Принципиальные электрические схемы детекторов.

6.2.3 Семейство выпрямительных характеристик (всего 4 графика).

6.2.4 Семейство детекторных характеристик (всего 3 графика).

6.2.5 Значение K_d при $U_{\omega} \leq 0,1$ В, значение K_d при $U_{\omega} \geq 0,8$ В.

6.2.6 Расчет S_d , R_{id} , μ_d , θ по полученным в результате измерения данным и теоретический расчет μ_d .

6.2.7 Осциллограммы выходного напряжения при различных нагрузках (3 рисунка) и при различных m (3 рисунка).

6.2.8 Осциллограммы выходного напряжения транзисторных детекторов (3 рисунка). Измерение K_d (3 значения).

6.2.9 Выводы по работе.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

7.1 Что такое выпрямительная, детекторная, колебательная характеристики амплитудного детектора?

7.2 Как зависит коэффициент передачи от величины сопротивления нагрузки?

7.3 Что такое угол отсечки тока?

7.4 Как зависит угол отсечки тока от сопротивления нагрузки?

7.5 Что такое крутизна характеристики, внутреннее сопротивление, внутренний коэффициент усиления детектора?

7.6 Как зависит внутренний коэффициент усиления от угла отсечки?

7.7 Из каких соображений выбирается сопротивление нагрузки?

7.8 Как выбирается емкость нагрузки?

7.9 Как влияет емкость нагрузки на коэффициент передачи?

7.10 Как объясняется возникновение нелинейных искажений при детектировании?

7.11 Почему различаются значения коэффициентов передачи при малых и больших сигналах?

7.12 По заданному преподавателем значению m рассчитайте коэффициент гармоник при детектировании слабого сигнала.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В настоящей работе исследуются различные варианты построения схем автоматической регулировки усиления (АРУ) транзисторных радиоприемных устройств. Цель работы состоит в изучении принципов построения схем АРУ; исследовании основных характеристик АРУ и методики их измерения.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Системы АРУ транзисторных радиоприемных устройств

Задачей системы АРУ является поддержание приблизительно постоянного напряжения на выходе РПУ при изменениях уровня входного сигнала. При приеме сильных сигналов система АРУ, уменьшая коэффициент усиления каскадов РПУ, способствует уменьшению уровня нелинейных искажений, возникающих в каскадах приемника, расположенных до детектора.

В идеале для решения задачи, поставленной перед системой АРУ, необходимо, чтобы в ответ на изменение величины входного сигнала система АРУ обеспечивала бы пропорциональное изменение коэффициента усиления. В современных РПУ используются несколько схем построения систем автоматической регулировки усиления.



Рисунок 4.1. Прямая АРУ.



Рисунок 4.2. Обратная АРУ

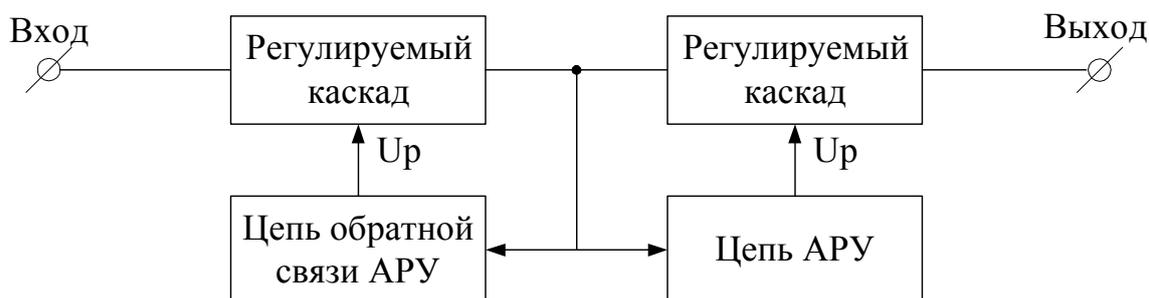


Рисунок 4.3. Комбинирующая АРУ.

Наибольшее распространение получили обратные АРУ, когда точка приложения регулирующего воздействия располагается ближе ко входу РПУ, чем точка съема напряжения.

Для обеспечения функционирования системы АРУ используют ряд схемотехнических решений:

- изменение режима работы регулируемого каскада по постоянному току;
- шунтирование колебательных контуров элементами, сопротивление которых зависит от управляющего воздействия;
- изменение величины межкаскадной связи (управляемые делители напряжения);
- изменение глубины обратной связи регулируемого каскада.

Некоторые определения

Амплитудной характеристикой приемника называется

$$U_d = f(E_A),$$

где U_d – напряжение на детекторе;

E_A – ЭДС сигнала в антенне.

Эффективность системы АРУ принято оценивать параметрами:

- динамический диапазон изменения ЭДС в антенне:

$$N_A = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{ex_max}}{U_{ex_min}} \right);$$

- динамический диапазон выходных сигналов:

$$N_D = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_{вых_max}}{U_{вых_min}} \right);$$

- динамический диапазон регулирования :

$$N_P = N_A - N_D.$$

Амплитудную характеристику РПУ можно изобразить в обобщенных координатах

$$N_D = f(N_A),$$

что позволяет непосредственно по графику оценить эффективность действия системы АРУ.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В данной лабораторной работе исследуется система АРУ, в которой регулировка усиления осуществляется путем изменения режима каскада по постоянному току. Наибольшее распространение получило управление по току базы, которое имеет малую мощность потерь в цепи управления. Принципиальная схема установки приведена на Рисунке 4.4.

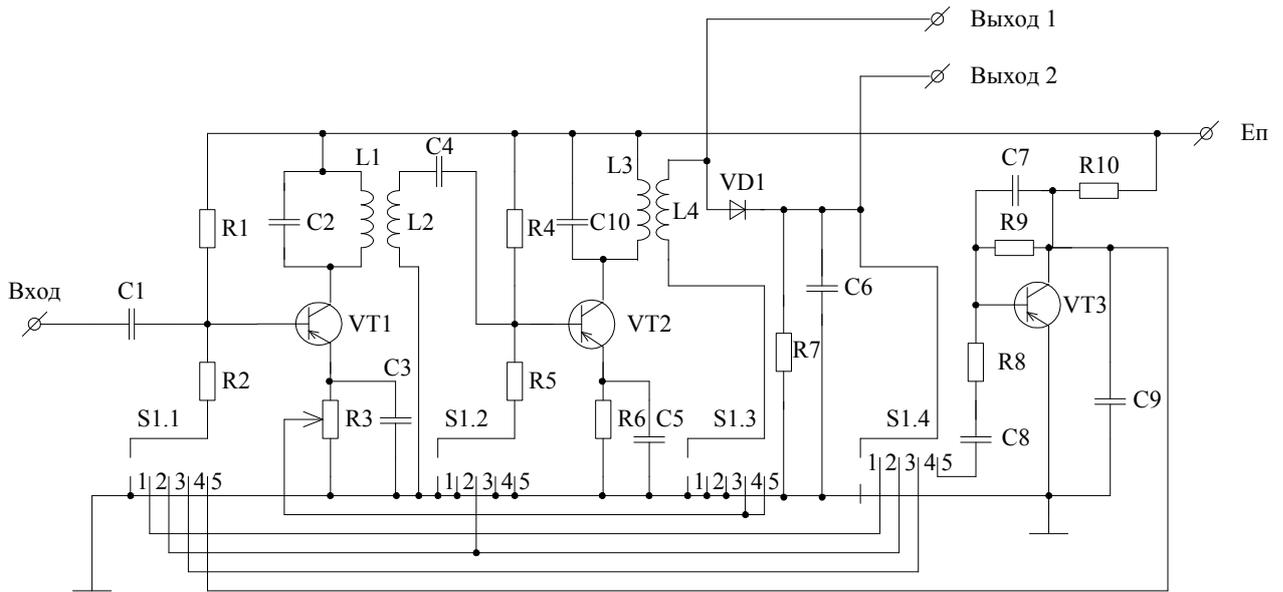


Рисунок 4.4. Принципиальная схема установки

Величина постоянного управляющего напряжения на нагрузке детектора определяется выходным напряжением высокочастотной части приемника, которая, в свою очередь, зависит от уровня входного сигнала. С ростом входного сигнала ток базы регулируемого транзистора падает, что ведет к уменьшению коэффициента усиления.

Лабораторный макет позволяет исследовать следующие варианты системы АРУ.

Регулировка на один каскад (Рисунок 4.5).

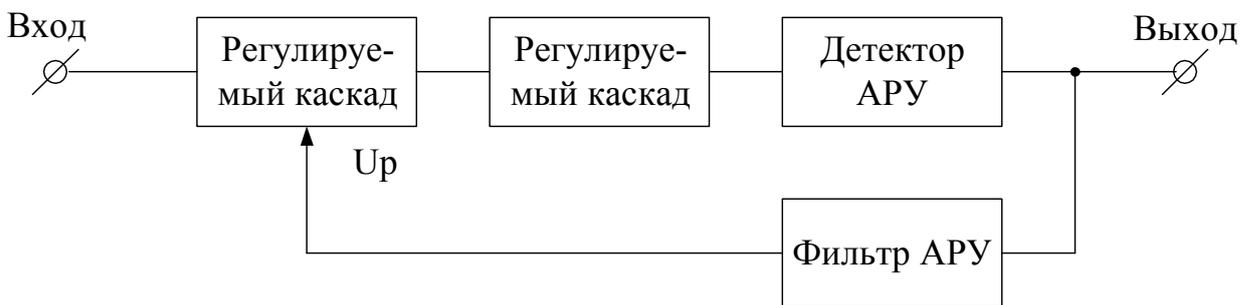


Рисунок 4.5

Если эффективность АРУ недостаточна, то можно регулировать усиление на двух каскадах (Рисунок 4.6).

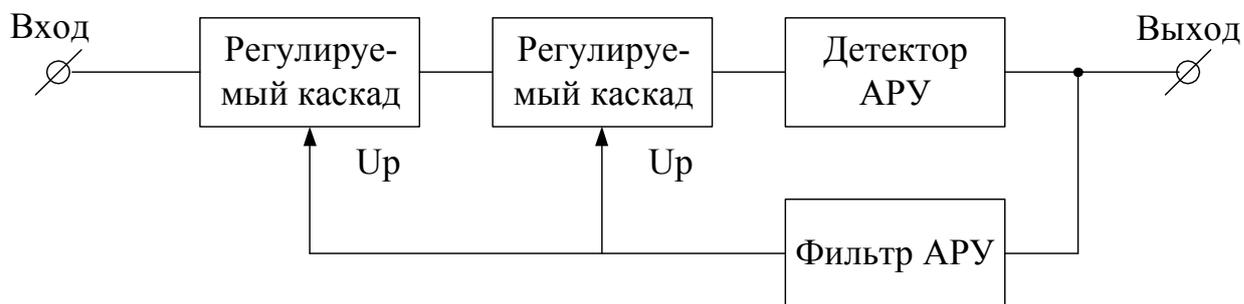


Рисунок 4.6

Чтобы исключить работу системы АРУ при малых входных сигналах, вводят задержку регулирующего напряжения U_3 (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7

В случае, если регулирующее напряжение недостаточно для эффективной работы системы АРУ, в схему вводят усилитель (Рисунок 4.8).



Рисунок 4.8

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

При подготовке к выполнению лабораторной работы следует внимательно изучить соответствующие разделы рекомендованной литературы.

До включения установки убедитесь в наличии надежного заземления и правильности подключения оборудования (Рисунок 4.9).

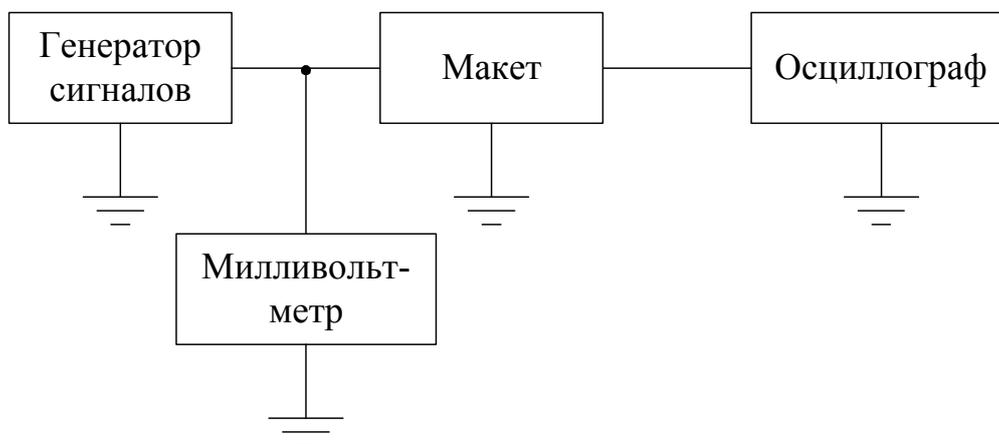


Рисунок 4.9

5. ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

5.1 После ознакомления с установкой включите приборы и прогрейте их в течение 10 минут.

5.2 Снимите амплитудную характеристику приемника без АРУ и с АРУ различного типа. Исходные данные:

- частота сигнала 310 кГц;
- напряжение сигнала на входе: $0.1 \div 30$ мВ
(плавно увеличивайте от минимального до максимального напряжения, при котором появляются сильные искажения);
- глубина модуляции $m = 0.3$.

5.3 Для простой АРУ оцените влияние количества регулируемых каскадов на эффективность АРУ.

5.4 Оцените влияние величины задержки на эффективность АРУ. Для этого снимите амплитудные характеристики для двух значений напряжений задержки. Напряжение задержки снимите с резистора R4.

5.5 Оцените эффективность всех видов АРУ. Постройте амплитудные характеристики в логарифмическом масштабе.

5.6 Зарисуйте осциллограммы напряжения на входе детектора АРУ при различных напряжениях на входе.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

6.1 Отчет оформляется один на учебную бригаду.

6.2 В отчете должно быть отражено:

6.2.1 Цель работы;

6.2.2 Принципиальная схема установки;

6.2.3 Амплитудные характеристики схем АРУ (всего 7 графиков);

6.2.4 Расчет динамических диапазонов входных и выходных напряжений (5 для входных и 7 для выходных);

6.2.5 Расчет динамического диапазона АРУ (6 величин);

6.2.6 Выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 7.1 Каково назначение АРУ?
- 7.2 Какие схемы АРУ (по структуре) вам известны?
- 7.3 Какие схемы АРУ применяются в транзисторных РПУ?
- 7.4 Каково назначение фильтра АРУ?
- 7.5 Чем определяется инерционность АРУ?
- 7.6 Как характеризуют эффективность АРУ?
- 7.7 К чему приводят перегрузки каскадов УПЧ при большом уровне входного сигнала?
- 7.8 Что такое усиленная АРУ и усиленно-задержанная АРУ?
- 7.9 На принципиальной схеме приемника, выданной преподавателем, найдите цепи АРУ и рассчитайте постоянную времени фильтра АРУ.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Румянцев К.Е. Прием и обработка сигналов : Учеб. пособие для вузов. – М. : Академия, 2004. – 527,с. : ил. – (Высшее профессиональное образование.Радиоэлектроника).
2. Томаси Уэйн. Электронные системы связи / Пер.с англ.Н.Л.Бирюкова. – М. : Техносфера, 2007. – 1358с. : ил.
3. Радиотехнические устройства и элементы радиосистем : Учеб.пособие для студентов вузов. – 2-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2005. – 293с. : ил.

Дополнительная литература

4. Радиотехника: Энциклопедия / В.Т. Белинский, Г.И. Васюк, Вал. С. Вунтесмери и др.; Под ред.: Ю.Л.Мазора и др. – 2-е изд., стер. – М.:Додэка–XXI, 2009. – 943 с.
5. Козлова И.С. Справочник по радиотехнике / И.С. Козлова, Ю.В. Щербакова. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 314 с.
6. Колосовский Е.А. Устройства приема и обработки сигналов: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 456с.: ил.
7. Онищук А.Г. Радиоприемные устройства: Учебное пособие / А.Г.Онищук, А.М.Амелин. – 2-е изд., испр. – Минск: Новое знание, 2007. – 240с.: ил.- (Техническое образование).
8. Румянцев К.Е. Прием и обработка сигналов: сборник задач и упражнений: учебное пособие для вузов / К.Е. Румянцев. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
9. Проектирование радиоприемных устройств: Учеб. пос. для вузов / Под общ. ред. А.П.Сиверса. – М.:Сов. радио, 1976. – 487 с.

10. Бадалов А.Л. и др. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС: Справочник / А.Л.Бадалов, А.С.Михайлов. – М.: Радио и связь, 1990. – 272 с.
11. Горшелев В.Д. и др. Основы проектирования радиоприемников / В.Д.Горшелев, З.Г.Красноцветова, Б.Ф.Федорцов. – Л.: Энергия, 1977. – 384 с.
12. Шапиро Д.Н. Расчет каскадов транзисторных радиоприемников. – Л.: Энергия, 1968. – 351с.
13. Екимов В.Д. и др. Проектирование радиоприемных устройств: Учеб. пос. для техникумов / В.Д.Екимов, К.М.Павлов. – 2-е изд. – М.: Связь, 1970. – 503с.
15. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах/ Пер. с англ. С.А.Жгуна, М.Ю.Дивногорцева; под ред. С.И.Баскакова – М.: Радио и связь, 1990. – 416 с.
15. Радиоприемные устройства: Учеб. пос. для вузов / Под ред. А.П.Жуковского. – М.: Высшая школа, 1989. – 342 с.
16. Палшков В.В. Радиоприемные устройства: Учеб. пос. – М.: Радио и связь, 1984. – 392 с.
17. Дипломное проектирование: Метод. указания. – 2-е изд., испр. и доп. / Сост.: К. Д. Бузулуцкий, Г. М. Богданов; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2004. – 30 с.
18. Богданов Г.М. Основы проектирования радиоэлектронных средств: упорядочение исходных данных: Учеб. пособие / НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2005. – 143 с.
19. Радиоприемные устройства: Учеб. пос. для вузов / Под ред. Н.В.Боброва. – М.: Сов. радио, 1971. – 495 с.
20. Арсланов М.З. и др. Радиоприемные устройства: Учеб. пос. для вузов / М.З.Арсланов, В.Ф.Рябков. – М.: Сов. радио, 1972. – 392 с.
21. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Под общ. ред. В.И.Сифорова. – М.: Сов. радио, 1974. – 560 с.

22. Радиоприемные устройства: Учебник для институтов связи / Под ред. А.Г.Зюко. – М.:Связь, 1975. – 400 с.
23. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Под ред. Н.Н.Фомина. – М.: Радио и связь, 1996. – 511 с.
24. Сборник задач и упражнений по курсу "Радиоприемные устройства": Учеб. пос. для вузов / Под общ. ред. В.И.Сифорова. – М.: Радио и связь, 1984.- 224 с.
25. Заварин Г.Д. и др. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Г.Д.Заварин, В.А.Мартынов, Б.Ф.Федорцов; под ред. Г.Д.Заварина. – М.: Воениздат, 1973. – 423 с.
26. Гуткин Л.С. и др. Радиоприемные устройства: Учеб. пос. для вузов: Ч.1/ Л.С.Гуткин, В.Л.Лебедев, В.И.Сифоров; под ред. В.И.Сифорова. – М.: Сов. радио, 1961. – 704 с.
27. Гуткин Л.С. и др. Радиоприемные устройства: Учеб. пос. для вузов: Ч.2 / Л.С.Гуткин, В.Л.Лебедев, В.И.Сифоров; под ред. В.И.Сифорова. – М.: Сов. радио, 1963. – 400 с.
28. Чистяков Н.И. и др. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Н.И.Чистяков, В.М.Сидоров; под ред. Н.И.Чистякова. – М.:Связь, 1974. – 408 с.
29. Симонов Ю.Л. Усилители промежуточной частоты. – М.: Советское радио, 1973. –384с.: ил.
30. Трохименко Я.К. Радиоприемные устройства на транзисторах. – 5-е изд., испр. и доп. – Киев: Техника, 1972. – 352 с.
31. Чистяков Н.И. и др. Радиоприемные устройства / Н.И.Чистяков, В.М.Сидоров, В.С.Мельников; под общ. ред. Н.И.Чистякова. – М.:Связьиздат, 1958. – 896с.
32. Сифоров В.И. Радиоприемные устройства. – 5-е изд., перераб. – М.: Воениздат, 1954. – 804 с.
33. Радиоприемные схемы на полупроводниковых приборах: Проектирование и расчет / Под ред. Р.А.Валитова, А.А.Куликовского. – М.: Сов. радио, 1968. – 384 с.

34. Радиотехнические схемы на транзисторах и туннельных диодах: Теория и расчет. – М.: Связь, 1966. – 512 с.
35. Трохименко Я.К. Радиоприемные устройства на транзисторах. – Киев: Техника, 1966. – 438с.
36. Екимов В.Д. и др. Радиоприемные устройства: Учебник для техникумов / В.Д.Екимов, К.М.Павлов; под ред. И.А.Доррера. – М.:Связь, 1975. – 480с.
37. Супрун Б.К. и др. Радиопередающие и радиоприемные устройства: Учеб. пос. / Б.К.Супрун, В.Ф.Шерепа. – М.: Изд. комитета стандартов, 1968. – 307 с.
38. Основы проектирования радиоприемников / В.Д.Горшелев, З.Г.Красноцветова, А.А.Савельев, Г.Н.Тетерин. – Л.: Энергия, 1967. – 452 с.
39. Музыка З.Н. Чувствительность радиоприемных устройств на полупроводниковых приборах. – М.: Радио и связь, 1981. – 166 с. – (Б-ка по радиоэлектронике; Вып. 70)
40. Перцов С.В. и др. Усилители радиочастоты / С.В.Перцов, К.А.Шуцкой. – М.: Энергия, 1969. – 296с. – (Б-ка по радиоэлектронике; Вып. 21)
41. Бунимович В.И. Флуктуационные процессы в радиоприемных устройствах. – М.: Сов. радио, 1951. – 360с.
42. Дитрих К.Ф. Радиоприемные устройства: Учебник для средних спец. учеб. заведений ММФ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.-Л: Транспорт, 1964. – 442 с.
43. Буланов Ю.А. и др. Усилители и радиоприемные устройства: Учебник для техникумов/ Ю.А.Буланов, С.Н.Усов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 415 с.
44. Буланов Ю.А. и др. Усилители и радиоприемные устройства: Учебник для техникумов/ Ю.А.Буланов, С.Н.Усов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1971. – 540 с.
45. Головин О.В. Радиоприемные устройства: Учебник для средних спец. учеб. заведений. – М.: Высш. школа, 1987. – 440 с.

46. Петров Л.Н. Транзисторные радиоприемники: Справ. пос. / Под ред. А.Ф.Бельского. – Л.: Лениздат, 1967. – 215 с.
47. Соболевский А.Г. Вы хотите сконструировать приемник. – М.: Связь, 1971. – 216 с.
48. Бобров Н.В. Расчет радиоприемников. – М.: Радио и связь, 1981.–240 с.– (Массовая радиобиблиотека: Вып. 1027)
49. Поляков В.Т. Радиолюбителям о технике прямого преобразования. – М.: Патриот, 1990. – 264с.
50. Энергетические характеристики космических радиолиний / Под ред. О.А.Зенкевича. – М.: Сов. радио, 1972. – 436с.
51. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи: Вып. 1: Общие вопросы ЭМС. Межсистемные помехи / Сост. Д.Р.Ж.Уайт; сокр. пер. с англ. под ред. А.И.Сапгира. – М.: Сов. радио, 1977. – 350 с.
52. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи: Вып. 2:Внутрисистемные помехи и методы их уменьшения / Сост. Д.Р.Ж.Уайт; сокр. пер. с англ. под ред. А.И.Сапгира. – М.: Сов. радио, 1978. – 272 с.
53. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи: Вып. 3: Измерение электромагнитных помех и измерительная аппаратура / Сост. Д.Уайт; сокр. пер. с англ. под ред. А.Д.Князева. – М.: Сов. радио, 1979. – 464 с.
54. Защита от радиопомех / Под ред. М.В.Максимова. – М.: Сов. радио, 1976. – 496с.
55. Суходоев И.В. Шумы электрических цепей: Теория. – М.: Связь, 1975. – 349 с.
56. Ван- дер-Зил А. Флуктуации в радиотехнике и физике/ Пер. с англ. под ред. Гуткина Л.С. – М. –Л.: Гос. энергетическое изд., 1958. – 296 с.
57. Ван дер Зил А. Шум: Источники, описание, измерение/ Пер. с англ. под ред. А.К.Нарышкина . – М.: Сов. радио, 1973. – 229с.

58. Лютов С.А. Индустриальные помехи радиоприему и борьба с ними. – 2-е изд., перераб. – М. –Л: Гос. энергетическое изд., 1951. – 240с.
59. Жалуд В. и др. Шумы в полупроводниковых устройствах / В.Жалуд, В.Н.Кулешов; под общ. ред. А.К.Нарышкина. – М.: Сов. радио, 1977. – 416 с.
60. Мак-Доналд Д. Введение в физику шумов и флуктуаций / Пер. с англ. Г.В.Воскресенского, В.П.Яковлева; под ред. Я.И.Хургина. – М.: Мир, 1964. –158с.
61. Редзько К.В. и др. Сборник задач и упражнений по радиоприемным устройствам: Учеб. пос. для техникумов / К.В.Редзько, А.Л.Досычев. – М.: Высш. школа, 1981. – 296 с.
62. Калихман С.Г. и др. Цифровая схемотехника в радиовещательных приемниках / С.Г.Калихман, Б.И.Шехтман. – М.: Радио и связь, 1982. –104 с.
63. Проектирование приемно-усилительных устройств с применением ЭВМ/ Л.И.Бурин, Л.Я.Мельников, В.З.Топурия, Б.Н.Шелковников. – М.: Радио и связь, 1981. – 176 с.
64. Палшков В.В. Оптимальные высокочастотные тракты радиоприемников. – М.: Радио и связь, 1981. – 144 с.
65. Голубев В.Н. Оптимизация главного тракта приема радиоприемного устройства. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.
66. Чистяков Н.И. Радиоприемные устройства. – М.:Сов. радио, 1978. –151 с. – (Б-ка радиоинженера: Современная радиоэлектроника: Вып.15)
67. Богданович Б.М. и др. Радиоприемные устройства: Учеб. пос. для вузов / Б.М.Богданович, Н.И.Окулич; под общ. ред. Б.М.Богдановича. – Минск: Вышэйшая школа, 1991. – 428 с.
68. Радиоприемные устройства / Под ред. Л.Г.Барулина. – М.:Радио и связь, 1984. – 272 с. – (Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на интегральных микросхемах)

69. Калихман С.Г. и др. Основы теории и расчета радиовещательных приемников на полупроводниковых приборах / С.Г.Калихман, Я.М.Левин. – М.: Связь, 1969. – 479с.
70. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов приема при флуктуационных помехах. – М. – Л.:Госэнергоиздат, 1961. – 488с.
71. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.:Сов. радио, 1972. – 448 с.
72. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров / Пер. с нем. Ю.В.Камкина под ред. Н.Н.Слепова. – М.: Радио и связь, 1983. – 752с.
73. Кривицкий Б.Х. Автоматическое слежение за частотой. – М.: Энергия, 1974. –136с. – (Массовая радиобиблиотека: Вып.860)
74. Миль Г. Электронное дистанционное управление моделями / Пер. с нем. В.Н. Пальнова под ред. А.В.Дьякова. – М.: ДОСААФ, 1980. – 416с.
75. Грабовски К. Параметрические усилители и преобразователи с емкостным диодом / Пер. с польск. А.А.Визеля; под ред. М.Е.Герценштейна. – М.: Сов. радио, 1974. – 304 с.
76. Румянцев М.М. Конструирование радиовещательных приемников. – М.: ДОСААФ, 1982. – 208с.
77. Соболевский А.Г. Измерения при настройке радиоаппаратуры. – М.:Энергия, 1980. – 144с.- (Массовая радиобиблиотека; Вып.1010)
78. Губернаторов О.И. и др. Цифровые синтезаторы частот радиотехнических систем / О.И.Губернаторов, Ю.Н.Соколов. – М.:Энергия, 1973. – 176 с.
79. Борисов В.Г. Знай радиоприемник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ДОСААФ, 1986. –126с.
80. Павлов Б.А. Синхронный прием. – М.: Энергия, 1977. – 80с. – (Массовая радиобиблиотека: Вып. 933)
81. Светлаков Л.И. Справочник по малогабаритным радиоприемникам. – М.: ДОСААФ, 1966. – 95 с.

82. Музыка З.Н. и др. Расчет высокочастотных каскадов радиоприемных устройств на транзисторах / З.Н.Музыка, В.Е.Пустоваров, Б.Г.Синицкий. – М.: Энергия, 1975. – 160 с.

83. Екимов В.Д. Расчет и конструирование транзисторных радиоприемников. - М.: Связь, 1972. – 216с. – (Б-ка "Телевизионный и радиоприем. Звукотехника": Вып. 68)

84. Суходоев И.В. Шумовые параметры транзисторов. – М.: Связь, 1967.- 64 с. – (Новое в технике связи)

85. Белоусов А.П. и др. Коэффициент шума / А.П.Белоусов, Ю.А.Каменецкий. – М.: Радио и связь, 1981. – 112 с.