

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОПРИЕМНИКОВ

*Методические указания к лабораторной работе*

САМАРА 2001

Составитель *В.А. Днищенко*

УДК 621.396.62

**Исследование основных характеристик радиоприемников: Метод. указания к лаб. работе / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *В.А. Днищенко*. Самара 2001. 16 с.**

Приведены общие сведения о РПрУ и изложены вопросы по теоретической подготовке и практическому выполнению экспериментальных исследований основных характеристик радиоприемников.

Рекомендованы для студентов дневного отделения специальности 200700. Выполнены на кафедре радиотехники.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П.Королева.

Рецензент *Н.А. Малыгин*

**Цель работы:** Ознакомление со структурной схемой супергетеродинного приемника и экспериментальное исследование его основных характеристик.

## 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Общие сведения

Для передачи полезной информации на большие расстояния с помощью радиоволн используется совокупность различных устройств, называемая радиотехнической системой передачи информации. Одной из составных частей такой системы является радиоприемное устройство (радиоприемник).

*Радиоприемным* называется такое устройство, которое предназначено для улавливания, усиления и преобразования радиосигналов с целью извлечения из них полезной информации.

К основным задачам, решаемым радиоприемным устройством, относятся:

- преобразование электромагнитного поля сигнала в электрический сигнал с помощью антенны;
- выделение полезных радиосигналов из совокупности других (мешающих) сигналов и помех, действующих на выходе антенны;
- усиление принимаемых сигналов до величины, необходимой для нормальной работы конечных устройств;
- демодуляция принятого сигнала с целью выделения информации, содержащейся в полезном радиосигнале;
- обработка принимаемых сигналов с целью ослабления мешающего действия помех искусственного и естественного происхождения.

Вопросами наилучшего решения перечисленных задач путем синтеза соответствующих структур радиоприемных устройств занимается теория оптимального радиоприема сигналов.

В зависимости от способа обработки сигналов в радиоприемниках последние можно разделить на следующие группы:

- детекторные приемники;
- приемники прямого усиления без регенерации;
- приемники прямого усиления с регенерацией;
- свержегенеративные приемники;
- приемники прямого преобразования;
- супергетеродинные приемники;
- автодинные приемники.

Помимо способов обработки сигналов, приемники отличаются друг от друга своими электрическими характеристиками. К основным из них относятся:

- чувствительность;
- избирательность;
- помехоустойчивость;
- диапазон рабочих частот;
- качество воспроизводимого сигнала;
- динамический диапазон;
- полоса пропускания.

## 1.2 Структурная схема супергетеродинного приемника

В силу своих высоких электрических характеристик и универсальности по отношению к видам принимаемых сигналов наибольшее распространение на практике находит супергетеродинная схема приемника. Структурная схема такого приемника изображена на рис.1.

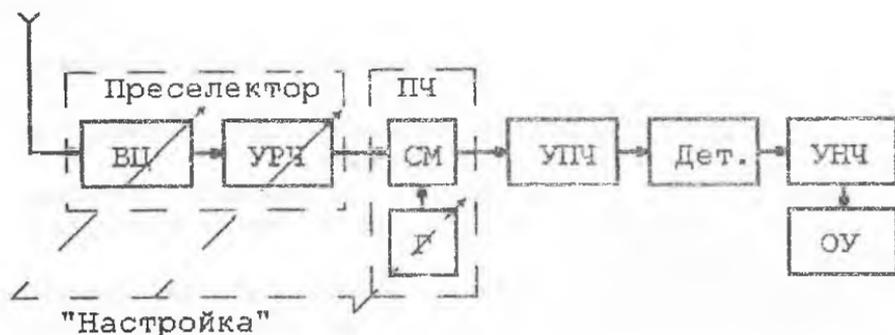


Рис.1. Структурная схема супергетеродинного приемника

Преселектор (предварительный селектор), содержащий входную цепь (ВЦ) и усилитель радиочастоты (УРЧ), предназначен для согласования антенны со входом приемника, предварительной селекции принимаемых сигналов (подавление помех по дополнительным каналам приема) и обеспечения необходимой чувствительности приемника за счет небольшого усиления сигналов в УРЧ.

Преобразователь частоты (ПЧ), содержащий гетеродин (Г) и смеситель (СМ), осуществляет линейный перенос спектра принимае-

мого сигнала с любой несущей частоты, лежащей в рабочем диапазоне, на некоторую постоянную частоту, называемую промежуточной.

Промежуточная частота выбирается, как правило, ниже основной частоты приема. Небольшая величина промежуточной частоты и ее неизменность при перестройке приемника позволяют использовать сложные избирательные системы в усилителе промежуточной частоты (УПЧ). Это обеспечивает высокую избирательность по соседнему каналу и одновременно позволяет получить высокий устойчивый коэффициент усиления УПЧ, что, в конечном счете, определяет чувствительность приемника.

Супергетеродинным приемникам присущи и некоторые недостатки. Основными из них являются дополнительные каналы приема и интерференционные свисты.

Зеркальный (симметричный) канал образуется из-за того, что приемник может одновременно принимать сигналы с двумя разными несущими частотами, расположенными симметрично по отношению к частоте гетеродина (рис.2).

$$f_c = f_r - f_{\Pi} \quad \text{и} \quad f_s = f_r + f_{\Pi}$$

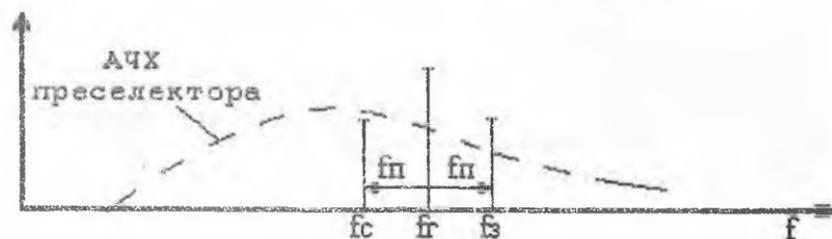


Рис.2. Образование зеркального канала приема

Другим дополнительным каналом приема является прямой канал с частотой

$$f_{\text{доп}} = f_{\Pi}$$

Комбинационные каналы приема образуются вследствие возникновения на выходе преобразователя колебаний комбинационных частот от действия гетеродина и помех:

$$f_k = | n f_r - m f_{\text{пом}} |,$$

где  $n = 0, 1, 2, \dots$ ;  $m = 0, 1, 2, \dots$ . Эти колебания могут попадать в полосу пропускания УПЧ, усиливаться и воздействовать на детектор.

Основными мерами борьбы с комбинационными каналами являются:

- повышение линейности тракта высокой частоты;
- повышение избирательности преселектора;
- уменьшение амплитуд гармоник в спектре гетеродинного напряжения.

Интерференционные свисты получаются из-за взаимодействия гармоник сигнала и гетеродина, которые создают комбинационную частоту, близкую к промежуточной:

$$f_k = |n f_r - m f_c| \approx f_{\Pi}.$$

Они возникают только на определенных частотах настройки приемника.

Если  $f_k \approx f_{\Pi}$ , то на входе детектора действует их сумма. Продетектированные биения этих колебаний дадут на выходе приемника колебания с разностной частотой

$$F = |f_{\Pi} - f_k|,$$

которые прослушиваются в динамиках в виде свиста.

Борьба с комбинационными свистами возможна путем повышения линейности высокочастотного тракта и правильным выбором режима работы гетеродина.

Достоинства супергетеродинных приемников состоят в постоянстве полосы пропускания, избирательности и коэффициента усиления во всем рабочем диапазоне частот. Кроме того, в них возможно получение большого устойчивого коэффициента усиления в УПЧ.

## 1.3 Основные характеристики радиоприемников

### 1.3.1 Чувствительность

Чувствительностью приемника называется мера способности радиоприемника обеспечивать прием слабых сигналов.

Количественно чувствительность характеризуется значением минимального сигнала на входе приемника при заданном отношении уровней полезного сигнала и шума и заданном уровне полезного сигнала на выходе приемника.

Чувствительность приемников метровых и более длинных волн оценивается значением минимальной ЭДС  $E_{a_{\min}}$ , подводимой ко

входу приемника. Она ограничивается здесь уровнем внешних помех, которые в данном диапазоне существенно превышают собственные шумы приемника.

Чувствительность приемников дециметровых и более коротких волн оценивается минимальной мощностью на входе приемника  $P_{a_{\min}}$  и ограничивается в основном собственными шумами приемника и антенны, характеризующимися средней мощностью.

Требуемое отношение сигнал/шум может задаваться либо на входе детектора, либо на выходе приемника и называется коэффициентом различимости  $a$ . Коэффициент различимости может представлять собой отношение мощностей  $a_p$ , либо напряжений  $a_u$ :

$$a_p = \frac{P_{с.в.ых}}{P_{ш.в.ых}}; \quad a_u = \frac{U_{с.в.ых}}{U_{ш.в.ых}}.$$

Связь между ними имеет вид  $a_p = a_u^2$ .

Часто коэффициент различимости задается в децибелах:

$$a_p[\text{дБ}] = 10 \lg a_p; \quad a_u[\text{дБ}] = 20 \lg a_u.$$

Чувствительность, определение которой приведено выше, называется *чувствительностью*, «ограниченной шумами». Часто не удается на выходе приемника обеспечить одновременно и требуемую мощность сигнала, и требуемое отношение сигнал/шум. Это имеет место при недостаточном коэффициенте усиления приемника. Даже при максимальном положении регулятора громкости (усиления) уровень шумов не достигает требуемого значения и отношение с/ш получается завышенным. Минимальное значение входного сигнала, при котором на выходе обеспечивается только требуемый уровень полезного сигнала, называется *чувствительностью*, «ограниченной усилением».

Используется и определение *пороговой чувствительности*, под которой понимают минимальный уровень радиосигнала на входе при равных уровнях сигнала и шума на выходе.

Требуемое значение отношения с/ш различно для приемников различного назначения и обычно задается техническими требованиями.

В радиовещании чувствительность приемников амплитудно-модулированных сигналов (в соответствии с ГОСТ 9783-88) измеряется при коэффициенте модуляции  $m = 0,3$ , частоте модулирующего напряжения  $F_m = 1000$  Гц (или 400 Гц).

Испытательная (стандартная) мощность  $P_{\text{СТ}}$  для приемников с различной выходной мощностью  $P_{\text{ВЫХ}}$  берется:

$$\begin{aligned} P_{\text{СТ}} &= 50 \text{ мВт} & \text{при} & & P_{\text{ВЫХ}} > 150 \text{ мВт}, \\ P_{\text{СТ}} &= 5 \text{ мВт} & \text{при} & & P_{\text{ВЫХ}} < 150 \text{ мВт}. \end{aligned}$$

Отношение с/ш на выходе приемника должно быть  $a = 20$  дБ.

Отношение сигнал/шум - это отношение эффективного значения выходного напряжения приемника, содержащего полезный сигнал, к эффективному значению выходного напряжения при немодулированном входном сигнале.

При измерении чувствительности приемников ЧМ - сигналов глубине модуляции  $m = 0,3$  соответствует девиация частоты 15 кГц при пиковой девиации 50 кГц и 22,5 кГц при пиковой девиации 75 кГц. Отношение сигнал/шум при ЧМ должно быть  $a = 26$  дБ.

### 1.3.2 Избирательность

Избирательностью называют способность приемника выделять полезный сигнал из суммы сигналов, имеющих различные частоты. Следует различать односигнальную и многосигнальную избирательности.

Односигнальная избирательность определяется при наличии на входе приемника только одного сигнала и при его уровне, не вызывающем нелинейных эффектов. Избирательность оценивается величиной

$$S = \frac{Ea_{\text{min}}}{Ea_{\text{min}0}}; \quad \text{при} \quad S \text{ [дБ]} = 20 \lg \frac{Ee_{\text{min}}}{Ea_{\text{min}0}},$$

где  $Ea_{\text{min}0}$  - чувствительность на частоте настройки приемника  $f_0$ ;  
 $Ea_{\text{min}}$  - чувствительность на частоте соответствующего побочного канала приема  $f_{\text{поб}}$ .

Побочными каналами приема могут быть:

а) Соседний канал. Частота соседнего канала отличается от частоты настройки приемника в диапазонах АМ на  $\pm 9$  кГц либо  $\pm 10$  кГц, а в диапазонах ЧМ на  $\pm 180$  кГц (моно) или на  $\pm 300$  кГц (стерео).

б) Зеркальный канал. Частота зеркального канала сдвинута относительно частоты настройки на величину двойной промежуточной частоты:

$$f_{з.к} = f_c \pm 2 f_{пр} .$$

В соответствии с ГОСТ 5651-76 измерение избирательности по зеркальному каналу производят на следующих частотах настройки:

ДВ - 250 кГц; СВ - 1 МГц; КВ - 12 МГц; УКВ - 69 МГц .

в) Прямой канал:  $f_{пр} = f_{пр}$ . Измерение избирательности по промежуточной частоте производят на следующих частотах настройки:

ДВ - 370 кГц; СВ - 560 кГц; УКВ - 66 МГц .

г) Дополнительные каналы приема. Они могут появляться на частотах

$$f_{доп} = \frac{m f_{гет} - f_{пр}}{n} ,$$

где  $m$  и  $n$  - любые целые числа;  $f_{гет}$  - частота гетеродина;  $f_{пр}$  - промежуточная частота.

При измерении селективности по дополнительным каналам ограничиваются в соответствии с ГОСТ 9783-71 следующими частотами  $f_{доп}$ :

- в диапазонах АМ сигнала

$$\begin{array}{cccc} 2 f_c + 3 f_{пр}; & 2 f_c + f_{пр}; & 3 f_c + 4 f_{пр}; & 3 f_c + 2 f_{пр}; \\ 4 f_c + 5 f_{пр}; & 4 f_c + 3 f_{пр}; & 5 f_c + 6 f_{пр}; & 5 f_c + 4 f_{пр}; \\ & f_c \pm 1/3 f_{пр}; & f_c \pm 1/2 f_{пр}. & \end{array}$$

- в диапазоне УКВ

$$\begin{array}{ccc} 1/2 f_c + 3/2 f_{пр}; & 1/2 f_c + f_{пр}; & 3/2 f_c + f_{пр}; \\ f_c + 1/2 f_{пр}; & 2 f_c + f_{пр}; & 3 f_c + 2 f_{пр}. \end{array}$$

### 1.3.3 Помехоустойчивость

Помехоустойчивостью называется способность приемника противостоять мешающему действию помех при допустимом уровне искажений полезной информации.

### 1.3.4 Диапазон рабочих частот

Диапазон рабочих частот - это интервал частот  $f_{max} - f_{min}$ , в котором возможна настройка приемника на любую частоту, и на каждой из частот обеспечиваются основные характеристики приемника.

### 1.3.5 Качество воспроизведения сигнала

Качество воспроизведения сигнала определяется уровнем линейных и нелинейных искажений.

### 1.3.6 Динамический диапазон

Динамическим диапазоном называется отношение максимального входного сигнала, при котором нелинейные искажения еще не превышают заданного значения к пороговой чувствительности приемника :

$$D = 20 \lg \frac{E_{\max}}{E_{a_{\min}}}$$

## 2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Структурная схема установки приведена на рис.3

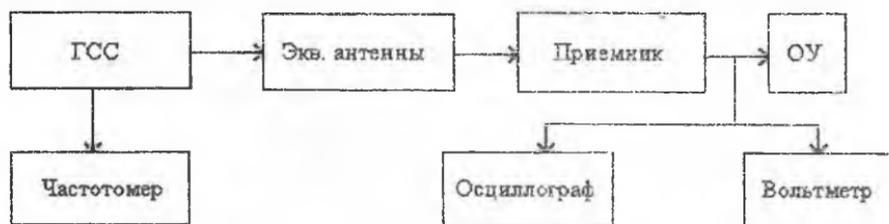


Рис. 3. Структурная схема лабораторной установки

Регулируемый выход генератора стандартных сигналов (ГСС) соединяется со входом приемника через эквивалент антенны. Для приемников бытового назначения в диапазонах ДВ, СВ и КВ используются эквиваленты, имитирующие антенны в виде отрезка провода длиной 5...10 м. На рис. 4 приведена схема эквивалента внешней проволочной антенны длиной 10 м для диапазона 0,1...30 МГц [4]. Параметры элементов эквивалента выбраны таким образом, чтобы его полное сопротивление при перестройке по диапазону наилучшим способом аппроксимировало изменение комплексного сопротивления реальной проволочной антенны.

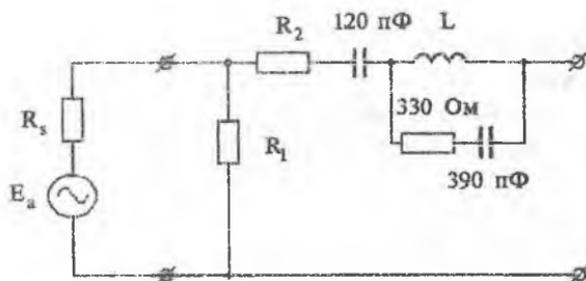


Рис. 4. Принципиальная схема эквивалента антенны

Здесь  $R_1 = R_s$  - выходное сопротивление ГСС;

$$R_2 = \left( 80 - \frac{R_s}{2} \right) \text{ Ом}; \quad L = 22 \text{ мкГн при } Q \geq 15.$$

Сигнал с нерегулируемого выхода ГСС подается на цифровой частотомер. Параллельно оконечному устройству или его эквиваленту (переключение которых предусмотрено на стенде) подключается вольтметр, измеряющий выходное напряжение, и осциллограф для наблюдения формы выходных сигналов.

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНИКА

#### 3.1 Измерение чувствительности

1) При выключенном ГСС по его шкале установить частоту выходного сигнала генератора равной середине поддиапазона, в котором работает приемник.

2) Включить внутреннюю модуляцию генератора и установить оговоренные в п. 1.3.1 значения параметров модулируемого колебания.

3) С помощью выходного аттенюатора генератора установить амплитуду несущей  $E_{\text{вх}} = 300 \text{ мкВ}$ . Включить питание ГСС.

4) Настроить приемник на частоту сигнала генератора по появлению в динамике звукового тона частотой 1 кГц. Переключить выход приемника на эквивалент нагрузки и по максимуму показаний вольтметра уточнить настройку приемника в резонанс.

5) Выходным attenuатором генератора подобрать амплитуду входных колебаний такой, чтобы амплитуда выходного сигнала  $U_c$  соответствовала требуемому значению выходной мощности (сопротивление обмотки громкоговорителя приемника  $R_H = 8 \text{ Ом}$ ).

6) Выключить внутреннюю модуляцию генератора и по выходному вольтметру измерить напряжение собственных шумов приемника  $U_{ш}$ . Определить значение  $a = U_c / U_{ш}$ . Если величина  $a$  меньше заданного значения, то напряжение шумов на выходе уменьшают регулятором громкости приемника. Очевидно, при этом уменьшится и амплитуда полезного сигнала. Включив внутреннюю модуляцию генератора, его выходным attenuатором вновь установить требуемое значение  $U_c$ .

Примечание: Увеличение уровня входного сигнала attenuатором ГСС приводит к уменьшению коэффициента усиления приемника за счет действия его системы АРУ. Как следствие, уменьшается ранее установленный с помощью регулятора громкости уровень шумов на выходе приемника.

Многократным повторением пп. 5 и 6 добиться одновременно выполнения условий, накладываемых на значения  $U_c$  и  $a$ .

Значение выходного напряжения генератора, при котором будут выполнены эти условия, и есть чувствительность приемника  $Ea_{\min}$ .

7) Повторить пункты 2 - 6 для двух точек диапазона, отстоящих от краев диапазона на 10% его ширины. Сделать вывод о зависимости чувствительности от частоты настройки приемника внутри поддиапазона.

## 3.2 Измерение избирательности

### 3.2.1 Избирательность по соседнему каналу

1) Настроить ГСС на середину поддиапазона, в котором работает приемник.

2) Измерить чувствительность приемника на частоте сигнала  $Ea_{\min 0}$  в соответствии с пп. 2...6 разд. 3.1.

3) Не изменяя настройки приемника, изменить частоту генератора на 10 кГц, имитируя сигнал по соседнему каналу приема, и вновь измерить  $Ea_{\min c}$  по вышеприведенной методике.

4) Вычислить избирательность по формуле

$$S_{c.k} = 20 \lg \frac{Ea_{\min.c}}{Ea_{\min .0}} .$$

5) Повторить пп. 1-4 данного раздела для двух точек диапазона, отстоящих от краев диапазона на 10% его ширины. Сделать вывод о зависимости избирательности от частоты настройки приемника внутри диапазона.

### 3.2.2 Избирательность по зеркальному каналу

1) Настроить ГСС на одну из частот, указанных в разд. 1.3.2, п. б) в зависимости от диапазона исследуемого приемника.

2) Измерить чувствительность приемника на этой частоте  $Ea_{\min 0}$  в соответствии с пп. 2-6 разд. 3.1 .

3) Расстроить ГСС на величину, равную удвоенному значению промежуточной частоты, и вновь определить чувствительность  $Ea_{\min з}$ .

4) Вычислить избирательность по формуле

$$S_{з.к} = 20 \lg \frac{Ea_{\min з}}{Ea_{\min 0}} .$$

### 3.2.3 Избирательность по прямому каналу приема

1) Настроить приемник на одну из частот, указанных в разд. 1.3.2 п. в) и измерить величину  $Ea_{\min 0}$  в соответствии с пп. 2-6 разд. 3.1 .

2) Настроить ГСС на промежуточную частоту для выбранного диапазона волн (465 кГц для АМ диапазонов и 10.7 МГц для УКВ) и вновь измерить чувствительность  $Ea_{\min пр}$  .

3) Вычислить избирательность по формуле

$$S_{пр} = 20 \lg \frac{Ea_{\min пр}}{Ea_{\min 0}} .$$

### 3.3 Измерение полосы пропускания

1) Измерить чувствительность приемника при его настройке в резонанс с частотой ГСС в середине выбранного диапазона приемника. Записать  $U_{с.вых}$ .

2) Увеличить напряжение на выходе ГСС в 1.4 раза.

3) Изменяя частоту ГСС в обе стороны от резонансной, получить значения  $U_{с.вых}$ . Зафиксировать соответствующие частоты  $f_{гр1}$  и  $f_{гр2}$ .

4) Определить полосу пропускания как разность частот расстройки:

$$\Delta f_{\text{пр}} = | f_{\text{гр1}} - f_{\text{гр2}} | .$$

5) Повторить пп. 1-4 данного раздела для еще двух частот, отстоящих от краев диапазона на 10% его ширины.

Сделать вывод о зависимости полосы пропускания от частоты настройки приемника.

#### **4. РАСЧЕТНОЕ ЗАДАНИЕ**

Вычислить по результатам работы значение коэффициента шума исследуемого приемника и его шумовую температуру.

#### **5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 1) Наименование и цель работы.
- 2) Структурная схема исследуемого РПрУ.
- 3) Схема лабораторного стенда.
- 4) Результаты измерений и расчетов по необходимым формулам.
- 5) Выводы о полученных результатах.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЗАЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

- 1) Дайте определение основных электрических характеристик РПрУ.
- 2) Изобразите обобщенную структурную схему супергетеродинного приемника и объясните назначение элементов.
- 3) Дайте определение коэффициента шума РПрУ.
- 4) Получите выражение для чувствительности РПрУ СВЧ диапазона.
- 5) Получите выражение, связывающее коэффициент шума РПрУ с коэффициентом шума отдельных блоков.
- 6) Получите выражения, связывающие чувствительность приемника с его коэффициентом шума и шумовой температурой.
- 7) Чем ограничивается чувствительность РПрУ СВЧ диапазона?
- 8) Основные источники собственных шумов; тепловой шум; мощность теплового шума цепи при согласовании ее с нагрузкой.

9) Как определяется эффективная шумовая полоса колебательного контура, РПрУ в целом.

10) Чем ограничивается чувствительность РПрУ ДВ-, СВ-, КВ- диапазонов?

11) Получите выражение для коэффициента шума пассивного четырехполюсника. Обоснуйте необходимость и место установки антенного усилителя в случае применения фидера большой протяженности.

12) Как измеряется чувствительность РПрУ?

13) Как измеряется избирательность РПрУ по зеркальному каналу?

14) Пояснить причины возникновения дополнительных каналов приема в супергетеродинном РПрУ.

15) Объясните преимущества и недостатки супергетеродинного РПрУ перед приемником прямого усиления.

### Список рекомендуемой литературы

1. Радиоприемные устройства / Под ред. проф. А.П. Жуковского. - М.: Высшая школа, 1989. С. 5-14, 20-31.
2. Головин О.В. Радиоприемные устройства. - М.: Высшая школа, 1997. С. 4-12, 16-34.
3. Радиоприемные устройства / Под ред. проф. В.М. Сифорова. - М.: Сов. Радио, 1974.
4. ГОСТ 9783 - 88. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы электрических высокочастотных измерений.

Составитель Днищенко Владимир Александрович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОПРИЕМНИКОВ**

*Методические указания к лабораторной работе*

Редактор Т. К. К р е т и н и н а  
Техн. редактор Г. А. У с а ч е в а  
Корректор Т. И. Щ е л о к о в а

Компьютерная верстка Т. Е. П о л о в н е в а

Лицензия ЛР № 020301 от 30.12.96 г.

Подписано в печать 12.02.2001 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л.0,93. Усл. кр.-отт. 1,05. Уч.-изд.л.1,0.

Тираж 100 экз. Заказ 36. Арт. С - 30/2001.

Самарский государственный аэрокосмический  
университет им. академика С. П. Королева.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

ИПО Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443001 Самара, ул. Молодогвардейская, 151.