

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

А	- антенна
АД	- амплитудный детектор
АИМ	- амплитудно-импульсная модуляция
АМ	- амплитудная модуляция
АО	- амплитудный ограничитель
АПЧ	- автоматическая подстройка частоты
АРУ	- автоматическая регулировка уровня (усиления)
АСУ	- автоматическое согласующее устройство
АТ	- амплитудное телеграфирование
АФС	- антенно-фидерная система
АФУ	- антенно-фидерное устройство
АХ	- амплитудная характеристика
АЦП	- аналого-цифровой преобразователь
АЧХ	- амплитудно-частотная характеристика
АЭ	- активный элемент
БП	- боковая полоса
БТ	- биполярный транзистор
ВАХ	- вольт-амперная характеристика
ВБП	- верхняя боковая полоса
ВРК	- временное разделение каналов
ВЦ	- входная цепь
ВЧТ	- высокочастотный тракт
ЗК	- зеркальный канал (приема)
ИКМ	- импульсно-кодовая модуляция
КНИ	- коэффициент нелинейных искажений
КПД	- коэффициент полезного действия
КПН	- коэффициент передачи напряжения
КС	- колебательная система
МККР	- Международный консультативный комитет по радио
НБП	- нижняя боковая полоса
НЧТ	- низкочастотный тракт
НЭ	- нелинейный элемент
ОБ	- общая база
ОБП	- одна боковая полоса
ОГ	- опорный генератор
ОК	- общий коллектор; общий катод
ОМ	- однополосная модуляция
ООС	- отрицательная обратная связь
ОС	- общая сетка; обратная связь

ОФТ	- относительная фазовая телеграфия (см. ФРМ)
ОЭ	- общий эмиттер
ПАВ	- поверхностные акустические волны
ПК	- промежуточный контур; предварительный каскад
ПОС	- положительная обратная связь
ППУ	- приёмник прямого усиления
ПТ	- полевой транзистор
ПУМ	- предварительный усилитель мощности
ПФ	- полосовой фильтр
ПЧ	- промежуточная частота; преобразователь частоты
РП	- радиоприемник
РПд	- радиопередатчик
РПдУ	- радиопередающее устройство (РПд вместе с
АФТ)	
РПУ	- радиоприёмное устройство (РП вместе с АФТ)
РЭА	- радиоэлектронная аппаратура
СГП	- супергетеродинный приёмник
СД	- синхронный детектор
См	- смеситель
ССЧ	- синтезатор сетки частот
СХ	- статическая характеристика АЭ
СЦ	- согласующая цепь
ТПЧ	- тракт промежуточной частоты
ТРЧ	- тракт радиочастоты
УЗЧ	- усилитель звуковой частоты
УПОС	- устройство приема и обработки сигналов
(радиоприемник)	
УПТ	- усилитель постоянного тока
УПЧ	- усилитель промежуточной частоты
УРЧ	- усилитель радиочастоты
УФПОС	- устройство формирования, приема и обработки
сигналов	
ФАПЧ	- фазовая автоподстройка частоты
ФАР	- фазированная антенная решётка
ФВЧ	- фильтр верхних частот
ФД	- фазовый детектор
ФМ	- фазовая модуляция
ФМн	- фазовая манипуляция
ФНЧ	- фильтр нижних частот
ФСИ	- фильтр сосредоточенной избирательности
ФТ	- фазовая телеграфия
ФЧХ	- фазочастотная характеристика
ЦАП	- цифро-аналоговый преобразователь

ЦРПУ	- цифровое РПУ
ЦФ	- цифровой фильтр
ЧАП	- частотная автоматическая подстройка частоты
ЧД	- частотный детектор
ЧМ	- частотная модуляция; частотный модулятор
ЧМн	- частотная манипуляция
ЧТ	- частотное телеграфирование
ШИМ	- широтно-импульсная модуляция
ЭВП	- электровакуумный прибор
ЭМС	- электромагнитная совместимость
ЭП	- электронный прибор

Радиоприемным устройством (РПУ) называется радиоэлектронное устройство, предназначенное для улавливания, усиления, преобразования и использования энергии электромагнитных волн с целью воспроизведения передаваемого сообщения.

В более широком смысле радиоприемное устройство предназначено для выделения сообщения (информации), заложенного в одном из параметров (амплитуде, фазе, частоте) несущего высокочастотного (ВЧ) колебания, сформированного радиопередающим устройством (РПДУ). РПУ является неотъемлемой частью большинства радиотехнических систем (связи, радиолокации, радионавигации, телеметрии и т.д.) и должно выполнять следующие основные функции:

- функцию избирательности – обеспечивать выделение полезного сигнала из помех по различиям в их параметрах и характеристиках;
- функцию усиления – увеличения уровня полезного сигнала;
- функцию преобразования – изменения спектрального состава полезного сигнала с целью создания наилучших условий для его обработки.

Основными требованиями, предъявляемыми к современным РПУ, являются:

- обеспечение требуемого подавления помех, сопровождающих прием сигнала;
- реализация усилительных свойств, позволяющих принимать сигнал минимального уровня (обеспечение чувствительности РПУ) и обеспечивающих постоянство уровня сигнала на выходе РПУ при изменении интенсивности входного сигнала (регулировка усиления);
- выделение информации, содержащейся в модулированном ВЧ сигнале, с заданной достоверностью (искажениями).

Радиоприёмные устройства являются неотъемлемой частью большинства аэродромных РЭС и предназначены для приёма, частотно-избирательного усиления и преобразования полезного сигнала в целях извлечения разнообразной информации об условиях полёта летательных аппаратов для управления ими как в районе аэродрома, так и за его пределами.

Классификацию РПУ аэродромных РЭС можно проводить по различным признакам, определяющим их технико-эксплуатационные характеристики.

По функциональному назначению приёмники подразделяют на:

1) *радиоприёмники средств связи*, входящие в состав радио- и радиорелейных станций, тропосферных станций, станций космической связи, многоканальных систем связи;

2) *радиоприёмники средств радиотехнического обеспечения (РТО) полётов*, входящие в состав радиолокационных и радионавигационных систем, средств инструментальной посадки.

РПУ первого типа служат для приёма сообщений (информации), формируемых на передающей стороне и транслируемых по радиолинии с помощью радиосигналов.

РПУ второго типа предназначены для обнаружения и классификации воздушных целей, определения их координат и параметров движения, используемых для формирования команд управления воздушным движением, а также решения ряда вспомогательных задач. Причём в этих РПУ выделяется и используется информация, задаваемая в радиосигнале путём его кодирования на передающей стороне или возникающая вследствие особенностей распространения и отражения радиосигнала.

По диапазону принимаемых частот в соответствии с принятой классификацией различают приёмники диапазонов ОНЧ, НЧ, СЧ, ВЧ, ОВЧ, УВЧ, СВЧ и др., подразумеваемая при этом, что отдельные типы РПУ могут функционировать в нескольких смежных диапазонах. Классификация диапазонов радиочастот, в которых могут работать приемники, приведена в таблице 1.1.

По роду работы (виду излучения) различают телеграфные, телефонные, однополосные, импульсные и т.д. приёмники. Международным союзом электросвязи (ITU) разработана своя классификация радиоизлучений. Виды излучения обозначаются, как правило, тремя индексами. Первый индекс (буква) характеризует вид модуляции: *N* – немодулированная несущая; *A* – амплитудная модуляция, *H* – однополосная модуляция с полной (ослабленной до -6 дБ) несущей; *R* – однополосная модуляция с ослабленной до -18 дБ несущей; *J* – однополосная модуляция с подавленной (до -40 дБ) несущей; *B* – независимые боковые полосы; *F* – частотная модуляция; *G* – фазовая модуляция; *P* – импульсная модуляция и др. Второй индекс (цифра) обозначает характер модулирующего сигнала: 0 – модулирующий сигнал отсутствует; 1 – телеграфирование без модулирующей звуковой частоты; 2 – тональная телеграфия; 3 – аналоговый модулирующий сигнал; 7 – два или более дискретных канала; 8 – аналоговая информация и др. Третий индекс (буква) обозначает вид передаваемой информации: *N* – информация не передаётся; *A* – телеграфия (приём на слух); *D* – приём автоматический; *B* – телефония и др. Код из трёх индексов характеризует основные признаки излучения. Для уточнения особен-

ности радиоизлучения используются два последующих дополнительных индекса. Если дополнительные индексы не используются, то проставляются два тире.

Пример: *AZE* – двухполосная АМ, модуляция аналоговым сигналом, телефонная информация; *FZE* – частотная модуляция телефонным аналоговым сигналом, *FIE* – частотная телеграфия, дискретная информация, слуховой приём.

По роду принимаемой информации РПУ следует классифицировать на радиотелефонные, радиотелеграфные, фототелеграфные (факсимильные), телевизионные и др.

Таблица 1.1

Классификация диапазонов радиочастот

Диапазон частот и его номер	Обозначение диапазонов	Длина волны	Наименование волн
3... 30 кГц (4)	Очень низкие частоты (ОНЧ)	10...100 км	Мириаметровые волны
30...300 кГц (5)	Низкие частоты (НЧ)	1...10 км	Километровые волны
300...3000 кГц (6)	Средние частоты (СЧ)	100...1000 м	Гектометровые волны
3...30 МГц (7)	Высокие частоты (ВЧ)	10...100 м	Декаметровые волны (ДКМВ)
30...300 МГц (8)	Очень высокие частоты (ОВЧ)	1...10 м	Метровые волны (МВ)
300...3000 МГц (9)	Ультравысокие частоты (УВЧ)	10...100 см	Дециметровые волны (ДМВ)
3...30 ГГц (10)	Сверхвысокие частоты (СВЧ)	1...10 см	Сантиметровые волны (СМВ)
30...300 ГГц (11)	Крайне высокие частоты (КВЧ)	1...10 мм	Миллиметровые волны (ММВ)
300...3000 ГГц (12)	Гипервысокие частоты (ГВЧ)	0,1...1 мм	Децимиллиметровые волны
Выше 3000 ГГц	Частоты оптического диапазона	менее 0,1 мм	Световые волны

Радиоприёмники профессиональной связи по протяженности радиолинии связи подразделяются на магистральные, приёмники для связи на средние и малые расстояния.

По виду структурной схемы ВЧТ различают следующие виды приемников:

1. Приёмники прямого усиления (в т.ч. детекторные и регенеративные);

2. Супергетеродинные приёмники (в т.ч. приёмники прямого преобразования или синхронные приёмники).

В зависимости от используемого принципа построения и элементной базы можно классифицировать приемники по поколениям:

1. Первое поколение – ламповые приемники с диапазонной стабилизацией частоты.

2. Второе поколение – ламповые, лампово-транзисторные, транзисторные приемники с аналоговыми синтезаторами частоты, с возможностью дистанционного управления, обеспечивающей работу в комплексах связи.

3. Третье поколение – полупроводниковые приемники с цифровыми синтезаторами частот (ЦСЧ).

4. Четвертое поколение – приемники с цифровыми микропроцессорными системами управления работой и элементами цифровой обработки сигналов.

5. Пятое поколение – полностью цифровые приемники.

Классификация РПУ может осуществляться и по иным признакам, таким как: по способу питания, конструктивному исполнению и др.

1. Структурные схемы и основные характеристики РПУ

1.1. Приемник прямого усиления

Приёмник, в котором усиление и избирательность (фильтрация) осуществляется на радиочастоте, называется *приемником прямого усиления*.

Структурная схема приёмника прямого усиления (ППУ) показана на рисунке 1.1. Радиосигнал с выхода приёмной антенны поступает на одноконтурную или многоконтурную входную цепь, которая обеспечивает предварительную фильтрацию сигнала и согласование антенны с входным сопротивлением усилителя радиочастоты (УРЧ) с целью передачи максимальной мощности принятого сигнала от антенны к усилителю.

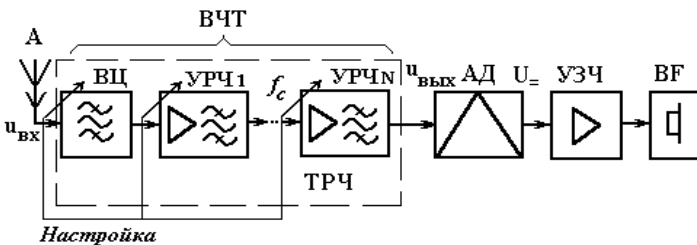


Рис. 1.1. Структурная схема приёмника прямого усиления

УРЧ усиливает полезный сигнал и осуществляет дальнейшую фильтрацию его от помех. Нагрузкой усилителя служат колебательные контуры, настроенные, как и входная цепь, на несущую частоту f_0 принимаемого сигнала. При перестройке приёмника в заданном диапазоне необходимо синхронно устанавливать резонансные частоты как входной цепи, так и нагрузок УРЧ равными несущей частоте радиосигнала.

Детектор преобразует принятые модулированные колебания радиочастоты в колебания звуковой частоты F (т.е. в сообщение). Тип детектора зависит от вида модуляции принимаемого сигнала.

В реальных условиях на вход РПУ воздействуют модулированные сигналы от нескольких радиостанций, работающих на частотах $f_{c1}, f_{c2}, f_{c3}, \dots, f_{cn}$, а приёмник должен принимать лишь один сигнал, несущая частота которого, допустим, равна f_{c2} . Все резонансные цепи радиотракта настраиваются на данную частоту $f_0 = f_{c2}$. Только при идеально

прямоугольной АЧХ радиотракта с шириной, равной ширине полосы пропускания приёмника Π_f , все составляющие спектра сигнала принимаемой радиостанции пройдут через радиотракт без искажений, а сигналы других радиостанций будут полностью подавлены.

Полосы частот, равные полосе пропускания приёмника и непосредственно примыкающие к её верхней и нижней границам, называются *соседними каналами*, а радиосигналы, частоты которых попадают в эти каналы, – помехами по соседним каналам (рисунок 1.2). Форму АЧХ реального радиоприёмника можно приблизить к идеальной, только усложняя избирательные цепи, например, используя фильтры из нескольких колебательных контуров. Однако стремление к улучшению избирательности приводит к усложнению конструкции системы синхронной перестройки большого числа колебательных контуров. Достаточная избирательность обеспечивается лишь в диапазонах километровых и гектометровых волн. Кроме того, необходимо помнить и о том, что на радиочастоте невозможно обеспечить значительного усиления принимаемого сигнала, так как увеличение числа усилительных каскадов может привести к их самовозбуждению.

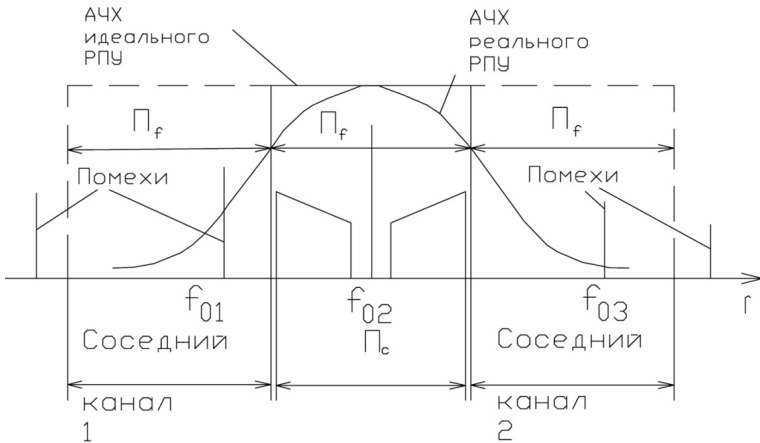


Рис. 1.2. Основной и соседние каналы приема РПУ

Перестройка приёмника прямого усиления в диапазоне частот сопровождается изменением его основных параметров. Известно, что полоса пропускания резонансной системы (колебательного контура) на уровне 0,707 определяется выражением $\Pi_{0,7} = f_0 d$, где d – затухание контура, которое зависит от частоты. Следовательно, при перестройке РПУ в диапазоне частот полоса пропускания будет изменяться от $\Pi_{0,7 \min} = f_{0 \min} d_{\min}$ до $\Pi_{0,7 \max} = f_{0 \max} d_{\max}$. Обычно полоса пропускания

выбирается равной (несколько большей) ширине спектра принимаемого сигнала; при этом все составляющие спектра радиосигнала проходят через радиотракт, а сигналы соседних радиостанций максимально ослабляются. При изменении полосы пропускания в процессе перестройки такой выбор полосы обеспечить невозможно.

Помимо $\Pi_{0,7}$ при перестройке РПУ в диапазоне частот изменению подвергается и резонансное сопротивление контура $R_0 = \omega_0 L/d$, где L – его индуктивность, что приведёт к изменению коэффициента усиления как каскада, так и радиотракта в целом ($K_0 \sim -S R_0$). Изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что РПУ прямого усиления обладают рядом недостатков:

1. Слабая избирательность и сложность синхронной перестройки колебательных цепей радиотракта.
2. Малая чувствительность.
3. Изменение коэффициента усиления и полосы пропускания при перестройке приёмника в диапазоне частот.

Приёмники прямого усиления целесообразно использовать лишь для обеспечения приёма сигнала с фиксированной частотой.

Детекторный приёмник является упрощённым вариантом приёмника прямого усиления (рисунок 1.3). Его основной отличительной особенностью является отсутствие усилителя радиочастоты. В общем случае детекторный приёмник может содержать более сложную входную цепь и усилитель звуковой частоты (или видеусилитель).

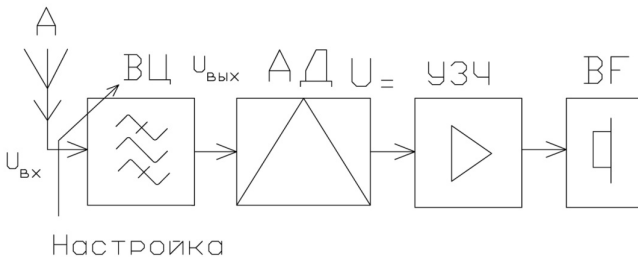


Рис. 1.3. Детекторный приёмник

Недостатками таких приёмников являются низкая чувствительность и избирательность. Основное достоинство детекторных приёмников – простота реализации, что обусловило их широкое применение в диапазоне СВЧ в радиолокации при приёме сигналов достаточной мощности.

Некоторые количественные показатели приёмников прямого усиления могут быть улучшены применением явлений регенерации и сверхрегенерации.

В приемнике с регенеративным усилителем за счёт положительной обратной связи в резонансный контур вносится отрицательное сопротивление, частично компенсирующее потери в нём, что увеличивает коэффициент усиления. Однако такие приёмники обладают невысокой устойчивостью, так как работают в режиме, близком к самовозбуждению. При этом возможно проникновение генерируемых колебаний в антенну, а их излучение ведёт к усилению помех другим приёмникам. Широкое распространение регенеративные усилители получили в диапазоне УКВ в качестве малошумящих УРЧ (параметрические, квантовые, на туннельных диодах) для повышения чувствительности радиолокационных приёмников.

В сверхрегенеративном приёмнике положительная обратная связь с УРЧ периодически изменяется с некоторой вспомогательной частотой, значительно превышающей частоту модуляции сигнала. При этом в течение части периода вносимое сопротивление становится отрицательным и в колебательном контуре самовозбуждаются колебания.

Амплитуды этих колебаний превышают амплитуду принимаемых сигналов в 10^4 раз и более. Интенсивность их пропорциональна действующим на колебательный контур принимаемым сигналам, т.е. генерируемые колебания в сущности являются усиленными сигналами. Сверхрегенеративному приёмнику, как и регенеративному, свойственны искажения сигналов и интенсивные паразитные излучения, что усложняет электромагнитную совместимость радиоэлектронных систем. Принцип сверхрегенерации широко используется при построении портативных радиостанций.

1.2. Супергетеродинный приемник

Супергетеродинный приёмник (СПП) был разработан в 1918 году. Его основная особенность заключается в том, что в ВЧТ помимо усиления сигнала происходит и преобразование частоты (частотный перенос спектра сигнала) с несущей на постоянную промежуточную. В супергетеродинном РПУ может осуществляться как одно, так и несколько преобразований частоты. Структурная схема приёмника с однократным преобразованием частоты приведена на рисунке 1.4, вид и спектры сигналов в отдельных точках схемы показаны на рисунке 1.5.

Назначение входной цепи и УРЧ в супергетеродинном приёмнике аналогично назначению указанных каскадов приёмника прямого

усиления. Однако существуют разновидности схемных реализаций СГП, в которых УРЧ может и отсутствовать.

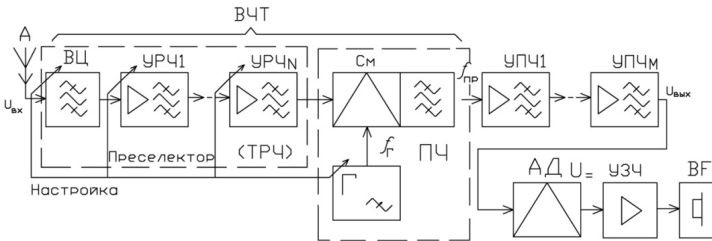


Рис. 1.4. Супергетеродинный приёмник

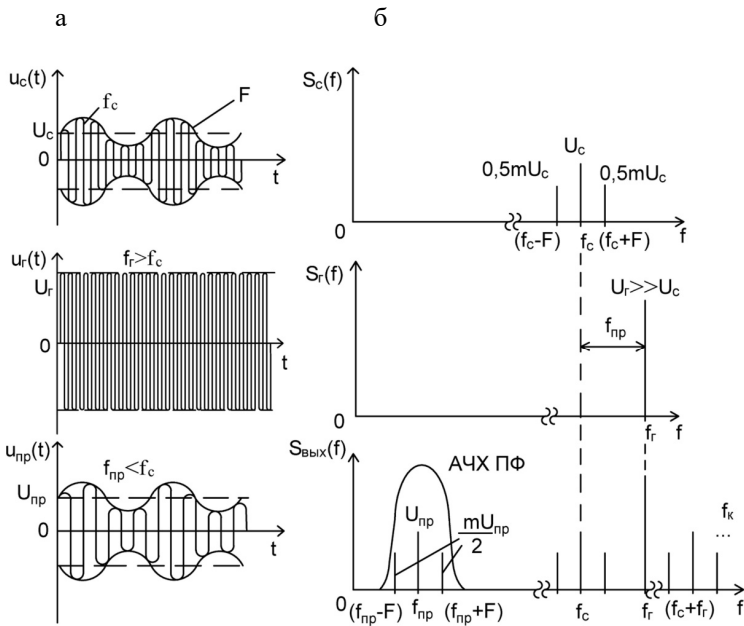


Рис. 1.5. Вид и спектры сигналов в отдельных точках СГП

На смеситель преобразователя частоты (ПЧ) подаются два колебания – с частотой сигнала f_c с выхода УРЧ и с частотой f_r от местного генератора, называемого гетеродином. Выходной ток $i_{пр}$ преобразователя частоты содержит ряд комбинационных составляющих с частотами $|\pm mf_c \pm nf_r|$ ($m = 1, 2, 3, \dots$; $n = 1, 2, 3, \dots$), из которых

практический интерес представляет лишь промежуточная частота $f_{\text{пр}}$, чаще всего поэтому

$$f_{\text{пр}} = |f_{\text{г}} - f_{\text{с}}|. \quad (1.1)$$

Именно на эту частоту настраиваются резонансные нагрузки (полосовые фильтры ПФ) тракта промежуточной частоты (ТПЧ): нагрузка смесителя и избирательные цепи усилителей промежуточной частоты (УПЧ) (рисунок 1.5,б). Таким образом, на выходе избирательной нагрузки смесителя выделяется напряжение $u_{\text{пр}}$ с промежуточной частотой $f_{\text{пр}}$. Частотное преобразование – процесс нелинейный, что обеспечивает перенос спектра сигнала с радиочастоты на более низкую фиксированную частоту $f_{\text{пр}}$. Так как эта частота занимает промежуточное положение между радиочастотой сигнала $f_{\text{с}}$ и частотой модуляции $F_{\text{м}}$, то она получила название промежуточной (рисунок 1.5,б).

На постоянной промежуточной частоте осуществляется *основное усиление сигнала и основная избирательность* (избирательность по соседнему каналу приёма).

При перестройке приёмника одновременно с изменением частоты настройки резонансных цепей входной цепи и УРЧ изменяется частота гетеродина $f_{\text{г}}$ так, что при любой частоте $f_{\text{с}}$ частота $f_{\text{пр}} = f_{\text{г}} - f_{\text{с}}$ остаётся постоянной. Это позволяет сделать тракт ПЧ перестраиваемым.

Диаграммы напряжений, поясняющие процесс преобразования частоты, показаны на рисунке 1.5,а.

Супергетеродинный приёмник обеспечивает более высокие чувствительность и избирательность по соседнему каналу приёма по сравнению с приёмником прямого усиления, его характеристики практически не изменяются при перестройке приёмника, поскольку они определяются характеристиками перестраиваемого тракта ПЧ. В СГП легче обеспечить большое усиление, так как на более низкой частоте $f_{\text{пр}} < f_0$ слабее проявляется действие паразитной обратной связи между выходом и входом усилителя через проходную ёмкость активного прибора. Это позволяет реализовать более высокое усиление без опасности самовозбуждения усилителя.

К недостаткам СГП относятся большая сложность его схемы, наличие кроме соседних каналов так называемых побочных или дополнительных каналов приёма помех (рассматриваемых в 2.5), возможность излучения колебаний с частотой гетеродина, создающих помехи для близкорасположенных радиоприёмных устройств. Однако, несмотря на наличие этих недостатков, которые могут быть ослаблены с помощью специальных мер, СГП являются наиболее распространённым типом современных приёмников различного назначения.

Для улучшения избирательных свойств РПУ иногда выбирают $f_{\text{пр}} \gg \gg f_{0 \text{ max}}$, а СГП в этом случае называется *инфрадинным*. СГП, в котором используется синхронный или когерентный детектор, называется *приёмником прямого преобразования*.

1.3. Способы обеспечения избирательности и усиления сигналов

По способу обеспечения требуемой избирательности различают радиоприёмники с распределённой и сосредоточенной избирательностью.

Основой многих избирательных цепей служит резонансный колебательный контур, однако использование одиночных контуров в качестве нагрузок усилительных каскадов практического применения почти не находит, так как коэффициент прямоугольности общей кривой избирательности (или АЧХ) даже при очень большом числе каскадов оказывается недостаточным. До последнего времени в качестве элементов, реализующих функцию избирательности, широко применялись двухконтурные полосовые фильтры, которые при критической связи между контурами и большом числе пар контуров позволяют получить кривую избирательности с высокой прямоугольностью. Радиоприёмники, в которых реализован такой принцип избирательности, и функции избирательности и усиления осуществляются всеми каскадами линейного тракта, получили название приёмников с распределённой избирательностью.

Таблица 1.2

Задачи, решаемые трактами РПУ

РПУ	Тракты РПУ	Линейный ВЧТ		НЧТ
	Схема	ТРЧ = ВЦ+УРЧ	ТПЧ=ПЧ+УПЧ	
1. Приёмник прямого усиления Детекторный приёмник		Основная избирательность и усиление (невысокие)	–	Усиление мощности
		Малые усиление и избирательность	–	Усиление напряжения и мощности
2. Супергетеродинный приёмник		Предварительная избирательность (подавление помех по ЗК и на $f_{\text{пр}}$). Небольшое усиление	Основные избирательность (по соседнему каналу) и усиление	Усиление мощности

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru