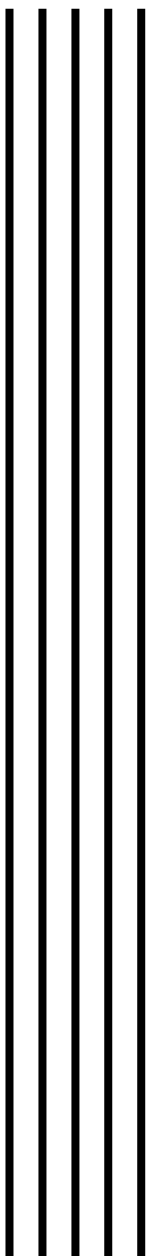


Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по изучению дисциплины “Прием и обработка сигналов”
и выполнению контрольной работы для студентов заочной
формы обучения направления 6.050901 — “Радиотехника”

Севастополь
2012

Методические указания по изучению дисциплины “Прием и обработка сигналов” и выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения направления 6.050901 — “Радиотехника” / СевНТУ; сост. С.Р. Зиборов. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. — 52 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам заочной формы обучения при самостоятельном изучении дисциплины “Прием и обработка сигналов” и выполнении контрольной работы. Представлен перечень тем дисциплины и даны методические указания по их изучению. Приведены контрольные задания и указания по их выполнению.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № 6 от “ 19 ” января 2012 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний для студентов

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Савочкин А. А.

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

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Методические указания по изучению дисциплины “Прием и обработка сигналов”	5
1.1. Тема 1. Общие сведения о радиоприеме.....	5
1.2. Тема 2. Помехи радиоприему	12
1.3. Тема 3. Входные цепи.....	15
1.4. Тема 4. Усилители радиочастоты	17
1.5. Тема 5. Усилители промежуточной частоты.....	18
1.6. Тема 6. Преобразователи частоты	19
1.7. Тема 7. Детекторы сигналов с амплитудной модуляцией	22
1.8. Тема 8. Детекторы сигналов с угловой модуляцией	25
1.9. Тема 9. Регулировки в радиоприёмнике	27
1.10. Тема 10. Приемники непрерывных сигналов.....	29
1.11. Тема 11. Помехоустойчивость радиоприема.....	30
2. Задачи и указания по их выполнению	33
2.1. Выполнение контрольной работы и ее защита	33
2.2 Правила оформления контрольной работы	33
2.3. Задание 1	35
2.4. Задача 2.....	37
2.5. Задача 3.....	39
2.6. Задача 4.....	41
2.7 Задача 5.....	44
2.8. Задача 6.....	46
Библиографический список.....	48
Приложение А Перечень используемых сокращений	49
Приложение Б Образец титульного листа	50

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина “Прием и обработка сигналов” является одной из профилирующих в программе подготовки бакалавров по направлению 6.050901 — “Радиотехника” и служит основой для изучения дисциплин: “Радиотехнические системы”, “Наземные и космические системы связи” и др.

Целью дисциплины является изучение студентами теории и принципов построения устройств приема и обработки сигналов, а также развитие умения и навыков, необходимых для разработки и эксплуатации этих устройств.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- физические процессы, происходящие в устройствах приема и обработки сигналов;
- основные понятия, определения и терминологию теории приема и обработки сигналов;
- принципы построения и функционирования устройств приёма и обработки сигналов;
- методы анализа и электрического расчёта основных узлов радиоприёмных устройств;
- современную элементную базу радиоприёмных устройств;
- тенденции и перспективы развития устройств приёма и обработки сигналов.

Первая глава содержит перечень изучаемых тем, краткие пояснения содержания каждой темы, а также ссылки на литературу с указанием подразделов, в которых подробно изложен материал по соответствующей теме. В конце обсуждения каждой темы приводится перечень контрольных вопросов по теме.

Вторая глава содержит задания по контрольной работе и методические указания по их выполнению.

Студенты изучают дисциплину “Прием и обработки сигналов” в течение двух семестров. В первом семестре студенты изучают темы, указанные в п.п. 1...7, и выполняют контрольную работу, а во втором — темы, указанные в п.п. 8...11, и выполняют курсовой проект.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ “ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ”

1.1. Тема 1. Общие сведения о радиоприеме

1.1.1. Содержание темы 1

Основные задачи и содержание дисциплины. Классификация радиоприемников. Основные характеристики радиоприемников (чувствительность; избирательность; частотный диапазон; линейные и нелинейные искажения; динамический диапазон; помехоустойчивость и др.) и методы их оценки. Радиоприемники прямого усиления. Супергетеродинные радиоприемники. Побочные каналы приёма (зеркальный, прямой, комбинационные) и методы их подавления. Коэффициент перекрытия диапазона частот приемника. Способы разбивки диапазона частот на поддиапазоны. Особенности перестройки частотно-избирательных цепей радиоприемника.

Литература по теме 1: [1, п. 1], [2, п.п. 1.1...1.4], [3, п.п. 1.1...1.11], [5, п. 1].

1.1.2. Методические указания по теме 1

При радиоприеме принимаемый радиосигнал представляет собой электромагнитное поле, один из параметров которого (амплитуда, частота или фаза) изменяется во времени по закону передаваемого сообщения (речь, музыка, телеметрическая информация, цифровой код и т.п.). Указанная операция называется модуляцией и реализуется в радиопередатчике, выходной сигнал которого принято называть модулированным радиосигналом.

В зависимости от вида модулируемого параметра различают радиосигналы с амплитудной, частотной и фазовой модуляцией. Поскольку мгновенные частота и фаза радиосигнала взаимосвязаны, то последние два вида модуляции называются угловой модуляцией.

Необходимо различать радиоприёмное устройство и собственно радиоприёмник (далее просто “приемник”). Радиоприёмное устройство состоит из антенно-фидерного устройства, приёмника и оконечного устройства. В дисциплине “Прием и обработка сигналов” основное внимание уделяется приемникам.

Электромагнитные волны, излучаемые антеннами радиопередатчиков, достигают приемной антенны и наводят в ней электрические токи, которые поступают на вход приемника. Поскольку одновременно работает множество передатчиков, а также других устройств, излучающих электромагнитные волны, то ток приемной антенны представляет собой сумму токов, отличающихся по частоте и виду модуляции. Из указанного множества сигналов приёмник выделяет полезный сигнала, который обычно называют принимаемым сигналом или основным каналом, и преобразует его к виду, определяемому оконечным устройством. Все остальные сигналы, попадающие на вход приемника, рассматриваются как помехи.

В отсутствии модуляции принимаемый радиосигнал представляет собой

гармоническое напряжение с постоянными амплитудой U_m , частотой ω_c и начальной фазой φ_c

$$u_c(t) = U_{mc} \cos[\omega_c t + \varphi_c] = U_{mc} \cos[\Psi_c(t)]. \quad (1.1)$$

где t — текущее время; $\Psi_c(t) = \omega_c t + \varphi_c$ — мгновенная фаза сигнала.

Сигнал (1.1) часто называют “несущим сигналом” или просто “несущей”, а его частоту ω_c — частотой несущей. Следует обратить внимание на различие между круговой частотой $\omega_c = 2\pi f_c$, измеряемой в радианах за секунду, и обычной частотой f_c , измеряемой в герцах.

При амплитудной модуляции (АМ) принимаемый сигнал можно представить в виде

$$u_c(t) = U_{mc}[1 + as(t)]\cos(\omega_c t + \varphi_c), \quad (1.2)$$

где a — постоянный коэффициент; $s(t)$ — передаваемое сообщение.

Если передаваемое сообщение $s(t)$ представляет собой речь человека, то его принято называть аудиосигналом. Если сообщение представляет собой сигнал изображения, то его принято называть видеосигналом. Если сообщение представляет собой цифровой код, то его называют цифровым сигналом. Часто в технической литературе приставки “радио”, “аудио” и “видео” к слову “сигнал” опускаются, подразумевая, что читатель понимает о каком сигнале идет речь при рассмотрении процесса, происходящего в конкретном радиотехническом устройстве.

Наиболее простым АМ сигналом является сигнал, амплитуда которого изменяется по гармоническому закону (рис. 1.1)

$$u(t) = U_m(1 + m\cos\Omega t)\cos(\omega_c t + \varphi_c), \quad (1.3)$$

где $m = U_\Omega/U_m$ — коэффициент модуляции; $\Omega = 2\pi/T$ — частота модулирующего сигнала.

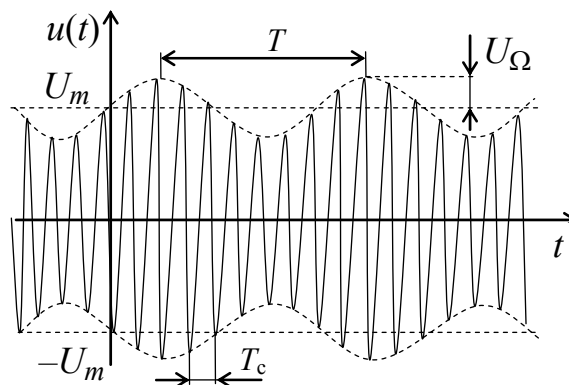


Рис. 1.1 — Временная диаграмма АМ сигнала

Следует иметь в виду, что временная диаграмма, изображенная на рис. 1.1, носит качественный характер, поскольку частота несущей АМ сигнала обычно во много раз превышает частоту огибающей, показанной на рис. 1.1 пунктирной линией. Поэтому в реальных осциллограммах АМ сигналов, аналогичных рис. 1.1, внутреннее высокочастотное заполнение сливается в сплошной фон, так как $T_c \ll T$.

При угловой модуляции изменяется как частота, так и фазы сигнала, однако амплитуда сигнала при этом не изменяется

$$u_c(t) = U_{mc} \cos[\omega_c t + \varphi(t) + \varphi_c] = U_{mc} \cos[\Psi(t)], \quad (1.4)$$

где $U_{mc} = \text{const}$ — амплитуда сигнала; $\varphi(t)$ — переменная составляющие фазы, обусловленная угловой модуляцией; $\Psi(t) = \omega_c t + \varphi(t) + \varphi_c$ — мгновенная фаза сигнала.

Следует иметь в виду, что мгновенная частота сигнала (1.4) определяется как скорость изменения его мгновенной фазы

$$\omega(t) = \frac{d[\Psi(t)]}{dt} = \frac{d}{dt}[\omega_c t + \varphi(t) + \varphi_c] = \omega_c + \frac{d[\varphi(t)]}{dt} = \omega_c + \Delta\omega(t).$$

На рис. 1.2 изображена временная диаграмма радиосигнала с непрерывной угловой модуляцией. Данная диаграмма также как и предыдущая (см. рис. 1.1) носит качественный характер.

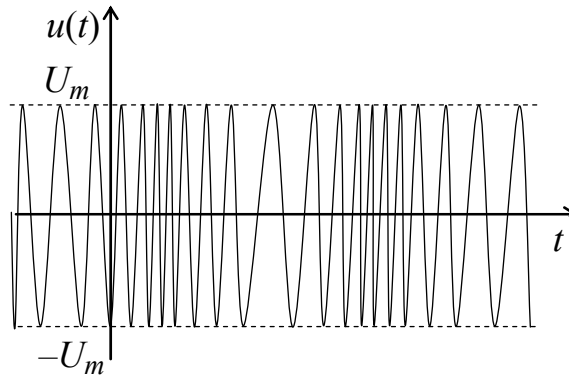


Рис. 1.2 — Временная диаграмма радиосигнала с угловой модуляцией

Следует отметить, что по виду временной диаграммы сигнала с угловой модуляцией невозможно отличить частотную модуляцию от фазовой. При частотной модуляции (ЧМ) по закону передаваемому сообщению изменяется приращение частоты сигнала $\Delta\omega(t) = as(t)$, а при фазовой модуляции (ФМ) — приращение его фазы $\Delta\varphi(t) = as(t)$. Поэтому для восстановления переданного сообщения необходимо принятый модулированный сигнал подать на детектор соответствующий виду модуляции.

Модулированные сигналы (1.2) и (1.4) являются, как правило, узкополос-

ными, то есть ширина их спектра много меньше частоты несущей, что существенно упрощает как их передачу, так и прием.

Приёмники классифицируют по принципу построения, виду модуляции принимаемого радиосигнала, виду переданного сообщения, области применения, виду питания и т.п.

Основными техническими характеристиками приемника являются: реальная и пороговая чувствительности, избирательность (частотная, пространственная, амплитудная и пр.), верность воспроизведения принятого сообщения, помехоустойчивость, динамический диапазон, частотный диапазон.

По принципу построения различают приемники прямого усиления и супергетеродинные. Структурная схема приёмника прямого усиления изображена на рис. 1.3.

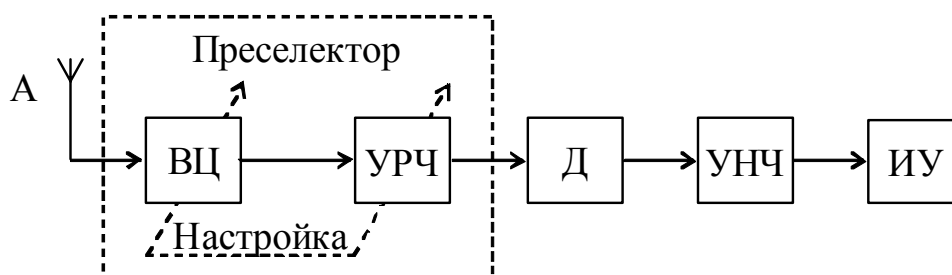


Рис. 1.3 — Структурная схема приёмника прямого усиления

Входная цепь ВЦ и усилитель радиочастоты УРЧ образуют частотно-избирательный преселектор, который настраивается на частоту принимаемого сигнала с помощью регулировки “Настройка”. При этом в качестве перестраиваемых частотно-избирательных цепей обычно используются LC -контур. Настройка преселектора на частоту принимаемого сигнала может осуществляться путем изменением емкости или индуктивности LC -контуров. Наибольшее распространение находит настройка с помощью изменения емкости, для чего используются конденсаторы переменной емкости или варикапы. Детектор Д преобразует (демодулирует) выходной сигнал УРЧ в сигнал сообщения. Выходной сигнал детектора усиливается усилителем низкой частоты УНЧ и поступает на исполнительное устройство ИУ (динамическую головку, реле и т.п.).

Для получения высокой чувствительности приемника его УРЧ должен иметь большое усиление, что требует увеличения числа каскадов УРЧ. В результате, усложняется схема УРЧ и снижается его устойчивость к самовозбуждению. Для повышения частотной избирательности приемника необходимо сужать полосу пропускания УРЧ, что часто не возможно из-за высокой несущей частоты принимаемого сигнала. Особенно это важно для частотной избирательности по соседнему каналу, за который обычно принимают сигнал, отстоящему по частоте от полезного сигнала на величину $\Delta f_{\text{ск}}$, которая задается стандартами или техническими условиями. Поэтому приёмники прямого усиления имеют низкую чувствительность и плохую частотную избирательность по соседнему каналу.

Недостатки приемника прямого усиления в значительной степени устране-

ны в супергетеродинном приемнике (рис. 1.4), часть блоков которого совпадает с аналогичными блоками приемника прямого усиления. Полезный сигнал, отфильтрованный и усиленный преселектором, подается на преобразователь частоты ПЧ, который состоит из смесителя C_m и гетеродина Γ . В результате преобразования частоты спектр принимаемого сигнала сдвигается по оси частот (без изменения формы спектра и вида модуляции) с частоты ω_c несущей на фиксированную промежуточную частоту $\omega_{пр}$, которая остается одной и той же независимо от частоты принимаемого сигнала, т.е. независимо от частоты настройки преселектора.

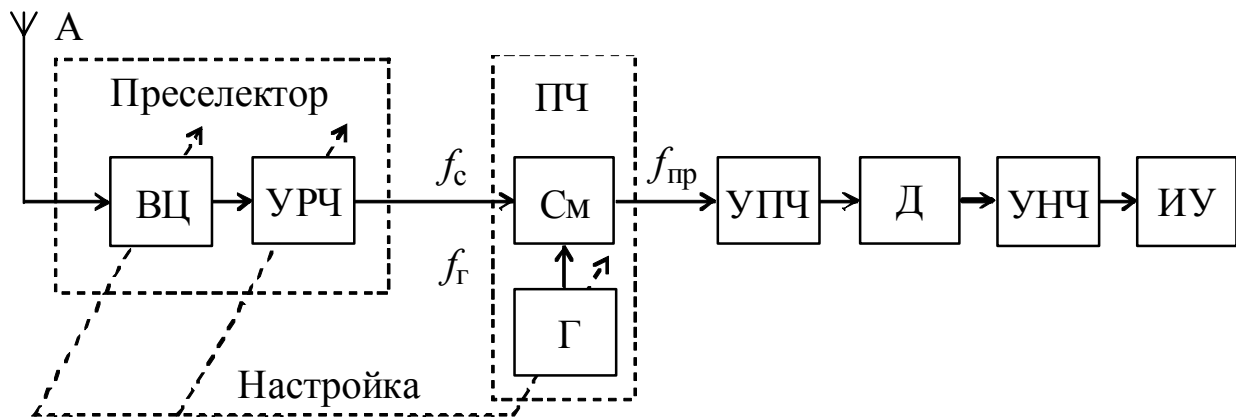


Рис. 1.4 — Структурная схема супергетеродинного приёмника

Гетеродин представляет собой маломощный генератор, перестраиваемый по частоте одновременно с преселектором. Обычно гетеродин вырабатывает гармонический сигнал

$$u_{\Gamma}(t) = U_{m\Gamma} \cos(\omega_{\Gamma} t). \quad (1.5)$$

Преобразование частоты реализуется смесителем путем перемножения принимаемого сигнала и сигнала гетеродина. Например, в случае приема АМ сигнала (1.2) на выходе смесителя получаем сигнал, который с учетом (1.5) будет иметь вид

$$u_{cm}(t) = K_{cm} u_c(t) u_{\Gamma}(t) = \frac{K_{cm} U_{mc} U_{m\Gamma} [1 + as(t)]}{2} \cos[(\omega_c - \omega_{\Gamma})t + \varphi_c] + \\ + \frac{K_{cm} U_{mc} U_{m\Gamma} [1 + as(t)]}{2} \cos[(\omega_c + \omega_{\Gamma})t + \varphi_c],$$

где K_{cm} — коэффициент передачи смесителя.

В качестве промежуточной частоты обычно используется разностная частота $\omega_{пр} = |\omega_c - \omega_{\Gamma}|$, которая может быть получена достаточно малой, по сравнению с частотами ω_c и ω_{Γ} .

По отношению к принимаемому сообщению смеситель считается линей-

ным устройством.

Различают верхнюю и нижнюю настройки гетеродина. В случае верхней настройки частота гетеродина f_{Γ} больше частоты принимаемого сигнала f_c

$$f_{\Gamma} = f_c + f_{\text{пр}}, \quad (1.6)$$

а в случае нижней настройки — меньше частоты принимаемого сигнала f_c

$$f_{\Gamma} = f_c - f_{\text{пр}}, \quad (1.7)$$

Усилитель промежуточной частоты УПЧ, настроенный на промежуточную частоту $f_{\text{пр}}$, усиливает выходной сигнал смесителя до уровня, обеспечивающего нормальный режим работы детектора Д. Продетектированный сигнал усиливается усилителем низкой частоты УНЧ и поступает на исполнительное устройство ИУ.

Часть приёмника, которая включена между приёмной антенной и входом первого нелинейного каскада (детектор, ограничитель амплитуды и т.п.) называется линейным трактом. Из рис. 1.4 видно, что линейный тракт приемника представляет собой совокупность последовательно включённых частотно-избирательных пассивных и активных каскадов, линейных по отношению к принимаемому сигналу. В результате, резонансный коэффициент передачи линейного тракта определяется в виде произведения резонансных коэффициентов передачи отдельных его каскадов.

Поскольку в супергетеродинном приёмнике основное усиление сигнала обеспечивается с помощью УПЧ, работающего на фиксированной и достаточно низкой промежуточной частоте, то по сравнению с приёмником прямого усиления супергетеродинный приёмник более устойчив к самовозбуждению и позволяет получить больший коэффициент усиления. Кроме того, постоянство промежуточной частоты позволяет использовать в УПЧ достаточно сложные неразстраиваемые фильтры сосредоточенной избирательности, что, в свою очередь, обеспечивает высокую частотную избирательность приемника по соседнему каналу.

Платой за достоинства супергетеродинного приемника является возникновение, так называемых, побочных каналов приема, которые отсутствуют у приемника прямого усиления. Побочными каналами приема называются сигналы, попадание которых на вход смесителя (см. рис. 1.4) приводит к образованию на его выходе наряду с полезным сигналом промежуточной частоты дополнительных (побочных) сигналов той же частоты. В результате, может наблюдаться одновременный прием нескольких сигналов. Например, в случае приема сигналов нескольких вещательных радиостанций в приемнике будет слышно одновременно несколько вещательных программ, что может не только затруднить прием полезного сигнала, но может сделать его просто невозможным. Поэтому подавление побочных каналов приема должно быть обеспечено до смесителя,

то есть в преселекторе приемника.

На рис. 1.5 изображены амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) $K(f)$ преселектора и частотная диаграмма расположения возможных каналов приёма супергетеродинного приёмника в случае верхней настройки гетеродина.

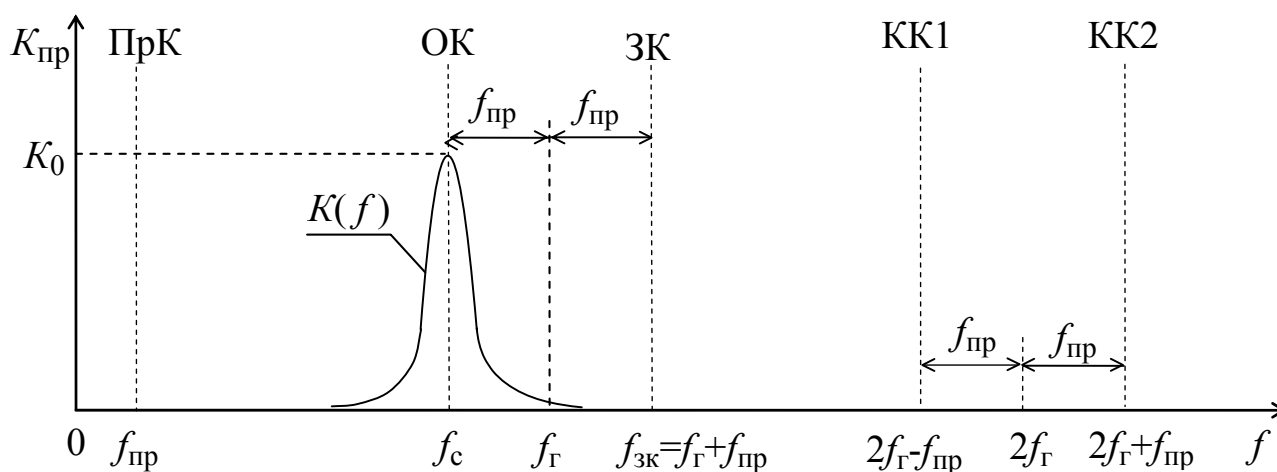


Рис. 1.5 — АЧХ преселектора $K(f)$ и частотная диаграмма расположения побочных каналов супергетеродинного приёмника

На рис. 1.5 использованы следующие сокращенные обозначения: ПрК — прямой канал (побочный сигнал промежуточной частоты), ОК — основной канал (полезный сигнал, на частоту которого настроен преселектор приёмника), ЗК — зеркальный канал (побочный сигнал, отстоящий по частоте от сигнала гетеродина на промежуточную частоту в сторону, противоположную основному каналу) и КК₁, КК₂ — комбинационные каналы (побочные сигналы, частота которых отстоит от частоты второй гармоники гетеродина на промежуточную частоту). Причины возникновения побочных каналов приема более детально рассматриваются при изучении темы 6 (см. п. 6.2).

Преселектор приемника (рис. 1.4) выполняет следующие функции:

- согласование входной цепи с антенно-фидерным устройством;
- усиление принимаемого сигнала до уровня, превышающего шумы смесителя в заданное число раз;
- подавление побочных каналов приёма (зеркального, прямого и комбинационных) в заданное число раз.

Недостатками супергетеродинного приёмника являются:

- образование побочных каналов приёма (зеркального на частоте $f_{зк} = f_c \pm 2f_{пр}$, прямого на частоте $f_{пр}$ и комбинационных на частотах $f_{кк} = nf_{Г} \pm f_{пр}$, где $n = 2, 3, \dots$);
- влияние нестабильности частоты гетеродина на значение промежуточной частоты;
- возможность излучения сигнала гетеродина антенной приемника, что может создавать помехи для других радиотехнических устройств;
- сложность схемы, особенно в приёмниках с многократным преобразо-

ванием частоты;

— сложность настройки преселектора и гетеродина, обеспечивающей постоянство промежуточной частоты.

Следует обратить внимание на то, что в приемниках (см. рис. 1.3, 1.4) важной проблемой является согласование не только входной цепи с антенно-фидерным устройством, но и согласование между собой всех каскадов линейного тракта приемника, от успешного решения которой существенным образом зависят характеристики приемника.

Поскольку в настоящее время основное применение находят супергетеродинные приёмники, то далее речь идёт только о таких приёмниках.

1.1.3. Вопросы для самопроверки по теме 1

- 1) Поясните назначение и основные функции радиоприемных устройств.
- 2) Перечислите основные технические характеристики радиоприемника и дайте им определения.
- 3) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия приемника прямого усиления.
- 4) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия супергетеродинного радиоприемника.
- 5) Каковы достоинства и недостатки супергетеродинного приемника по сравнению с приемником прямого усиления?
- 6) Постройте частотную диаграмму расположения возможных каналов приёма супергетеродинного приёмника при верхней и нижней настройках гетеродина.
- 7) Какие узлы супергетеродинного приёмника обеспечивают подавление побочных каналов приёма?
- 8) Какой узел супергетеродинного приёмника обеспечивает частотную избирательность по соседнему каналу?

1.2. Тема 2. Помехи радиоприему

1.2.1. Содержание темы 2

Классификация помех радиоприему. Эффективная шумовая полоса пропускания приёмника. Шумы омического сопротивления и колебательного LC -контура. Шумы полупроводниковых приборов. Эквивалентная схема и шумовая температура приемной антенны.

Эффективная шумовая полоса пропускания приемника. Коэффициент шума и шумовая температура активного и пассивного четырехполюсников. Коэффициент шума и шумовая температура линейного тракта приёмника.

Литература по теме 2: [1, п. 1.3], [2, п. 2], [3, п.п. 1.4, 1.7], [5, п.2].

1.2.2. Методические указания по теме 2

Важной особенностью радиоприема является наличие помех, под которыми следует понимать любые сигналы, искажающие переданное сообщение, независимо от источника их возникновения.

По источнику возникновения различают следующие виды помех: атмосферная, индустриальная, космическая, внутренние шумы, излучение сторонних радиостанций, пассивные помехи канала связи. Необходимо изучить распределение интенсивности различных видов помех в радиотехническом диапазоне частот.

По воздействию на принимаемый сигнал различают аддитивную и мультипликативную помехи, а по воздействию на приёмник — флуктуационную, импульсную и сосредоточенную помехи.

Необходимо изучить особенности шумов омического сопротивления, колебательного LC -контура, полупроводниковых диодов, биполярных и полевых транзисторов.

За эквивалент приёмной антенны связных и вещательных приёмников обычно принимают штыревую вертикальную антенну высотой 5 м. Необходимо знать эквивалентные схемы этой антенны для разных диапазонов длин волн.

В технических расчетах мощность шумов реальной антенны обычно заменяют эквивалентной мощностью теплового шума полного активного сопротивления антенны $R_A = R_\Sigma + R_{\Pi}$, где R_Σ и R_{Π} — сопротивление излучения и сопротивление потерь антенны соответственно, при температуре T_A , которая называется эффективной шумовой температурой антенны. Температура T_A используется в качестве оценки абсолютного уровня шумов антенны. Аналогичный параметр используется также при расчете других устройств. Эффективную шумовую температуру устройства (антенны, приемника, усилителя, фильтра и т.п.) нельзя рассматривать как реальную (физическую) температуру, а только как эквивалентную оценку шума того или иного устройства.

Шум приемной антенны принято разделять на две составляющие, одна из которых — это собственный шум антенны (тепловой шум эквивалентного сопротивления потерь), а другая — это сумму ЭДС, наводимых в антенне внешними источниками электромагнитных волн (грозовыми разрядами, космическими объектами, промышленными установками и т.п.). При таком подходе эффективную шумовую температуру антенны обычно представляют в виде суммы $T_A = T_{\text{АВН}} + T_{\text{Ас}}$, где $T_{\text{АВН}}$ — шумовая температура внешних помех; $T_{\text{Ас}}$ — собственная шумовая температура антенны.

Шумовые свойства линейного четырехполюсника на некоторой фиксированной частоте характеризуются дифференциальным коэффициентом шума, который показывает, во сколько раз уменьшается отношение мощности сигнала к мощности шума в бесконечно малом диапазоне частот df в окрестности заданной частоты при прохождении через четырехполюсник сигнала стандартного источника, согласованного с четырехполюсником,

$$N_d(f) = \frac{dP_{\text{с вх}}}{dP_{\text{ш вх}}} \bigg/ \frac{dP_{\text{с вых}}}{dP_{\text{ш вых}}} = \frac{dP_{\text{ш вых}}}{K_p(f) dP_{\text{ш вх}}} = 1 + \frac{dP_{\text{ш ч вых}}}{K_p(f) dP_{\text{ш вх}}}. \quad (1.8)$$

где $P_{\text{ш ч вых}}$ — мощность собственных шумов четырехполюсника на его выхо-

де; $K_p(f)$ – коэффициент передачи четырехполосника по мощности.

Из (1.8) следует, что дифференциальный коэффициент шума четырехполосника является функцией частоты f .

В диапазоне частот шумовые свойства четырехполосника оценивают интегральным коэффициентом шума, определяемым как отношение полной мощности шума на выходе четырехполосника к той ее части, которая обусловлена шумом стандартного источника сигнала, действующего на входе четырехполосника в режиме согласования с четырехполосником,

$$N = \frac{\int_0^{\infty} [G_0 + G_{\text{ш ч вх}}(f)] K_p(f) df}{\int_0^{\infty} G_0 K_p(f) df} = 1 + \frac{P_{\text{ш ч вых}}}{K_{p0} P_{\text{ш вх}}} = 1 + \frac{P_{\text{ш ч вх}}}{k T_0 \Pi_{\text{ш}}}, \quad (1.9)$$

где K_{p0} — резонансный коэффициент передачи четырехполосника по мощности; $P_{\text{ш ч вых}}$ — мощность собственных шумов на выходе четырехполосника; $P_{\text{ш ч вх}} = P_{\text{ш ч вых}} / K_{p0}$ — мощность собственных шумов четырехполосника, приведенная к его входу; $P_{\text{ш вх}} = k T_0 \Pi_{\text{ш}}$ — мощность шумов стандартного источника на входе четырехполосника; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана; $T_0 = 290$ К — стандартная абсолютная температура; $\Pi_{\text{ш}}$ — шумовая полоса пропускания четырехполосника.

Следует иметь в виду, что коэффициент шума (1.9) является относительной мерой шума четырехполосника, а абсолютной мерой шума является его шумовая температура

$$T_{\text{ш}} = (N - 1) T_0, \quad (1.10)$$

Надо знать, как связан коэффициент шума (1.9) и шумовая температура (1.10) приемника с коэффициентами шума и шумовыми температурами его отдельных каскадов. Анализ показывает, что наибольшее влияние на коэффициент шума приемника оказывают шумы входной цепи и первого активного каскада приемника. Влияние шумов второго и последующих активных каскадов приемника уменьшается пропорционально произведению коэффициентов усиления по мощности предшествующих каскадов. Поэтому следует по возможности уменьшать коэффициент шума и увеличивать коэффициент усиления по мощности первого активного каскада приемника.

Обратите внимание на связь реальной чувствительности приёмника с его шумовыми параметрами.

1.2.3. Вопросы для самопроверки по теме 2

1) Перечислите основные источники помех радиоприема и охарактеризуйте частотное распределение интенсивности этих помех в радиотехническом диапазоне частот.

2) Дайте определения аддитивной и мультипликативной помех и приведите

те примеры таких помех.

3) Дайте определения флуктуационной, импульсной и сосредоточенной помех и приведите примеры таких помех.

4) Дайте определение шумовой температуры антенны и ее составляющих.

5) Дайте определение дифференциального и интегрального коэффициентов шума и поясните их различие.

6) Дайте определение шумовой температуры четырехполюсников.

7) Как связан коэффициент шума и шумовая температура приемника с коэффициентами шума и шумовыми температурами его отдельных каскадов?

8) Какие каскады радиоприемника определяют его коэффициент шума и почему?

9) Как связана реальная чувствительность приемника с его шумовыми параметрами?

1.3. Тема 3. Входные цепи

1.3.1. Содержание темы 3

Назначение, классификация и основные характеристики входных цепей. Электрические схемы входных цепей. Емкостная и индуктивная настройка входных цепей. Анализ характеристик одноконтурных входных цепей с автотрансформаторной и трансформаторной связью с антенной. Анализ одноконтурных входных цепей с внешней емкостной, внутренней емкостной и комбинированной связью с антенной. Особенности входных цепей приемников сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона.

Литература по теме 3: [1, п.п. 2.1...2.3], [2, п.п. 3.1...3.5], [3, п. 2], [5, п.п. 3.1, 3.4, 3.5].

1.3.2. Методические указания по теме 3

Входная цепь — это часть приёмника, включённая между антенно-фидерным трактом и первым активным каскадом приёмника (усилителем радиочастоты или смесителем при отсутствии усилителя радиочастоты) (см. рис. 1.3 и рис. 1.4).

Входная цепь обеспечивает согласование антенно-фидерного устройства с приёмником, а также частотную избирательность приемника по побочным каналам приёма (прямому, зеркальному и комбинационным). При наличии внешних помех, частота которых отличается от частоты настройки входной цепи, последняя уменьшает опасность возникновения перекрестных искажений в первом активном каскаде приемника.

Входные цепи классифицируют по виду связи с антенной и по виду используемой частотно избирательной системы. Обычно в непрофессиональных приемниках используют ненастроенные антенны, параметры которых могут изменяться в больших пределах. Для уменьшения влияния антенны на параметры входной цепи связь входной цепи с антенной выполняется слабой.

Перестройку входной цепи осуществляют, как правило, путем изменения емкости LC -контуров с помощью конденсаторов переменной ёмкости или ва-

рикапов. Следует обратить внимание на преимущества емкостной перестройки входной цепи по сравнению с индуктивной перестройкой.

Необходимо уметь анализировать обобщенную схему одноконтурной входной цепи с автотрансформаторной связью с антенной и знать вывод формулы для расчета амплитудно-частотной (АЧХ) и фазочастотной (ФЧХ) характеристик этой цепи.

Следует также изучить схемы и особенности АЧХ входных цепей с внешней емкостной, внутриемкостной, трансформаторной и комбинированной связью с ненастроенной антенной.

При анализе входной цепи с трансформаторной связью с антенной необходимо рассмотреть два возможных режима ее работы: режим удлинения и режим укорочения. Следует уяснить, что режим удлинения позволяет получить меньшее изменение резонансного коэффициента передачи входной цепи при ее перестройке по частоте. Входная цепь с комбинированной связью с антенной применяется для увеличения резонансного коэффициента передачи входной цепи и уменьшения его изменения при перестройке входной цепи по частоте.

Следует ознакомиться с особенностями построения и анализа входных цепей приёмников с настроенной антенной, которые применяют в профессиональных приемниках ультракоротковолнового (УКВ) и микроволнового диапазонов. В случае настроенной антенны обычно используют режим согласования входной цепи как с антенной, так и с каскадом, следующим за входной цепью, что обеспечивает максимальный коэффициент передачи по мощности.

В профессиональных приемниках широкое применение находит двухконтурная входная цепь, которая при перестройке по частоте позволяет обеспечить достаточно хорошую равномерность резонансного коэффициента передачи, высокую частотную избирательность и постоянство полосы пропускания.

Следует обратить внимание на особенности элементной базы и конструктивного исполнения входных цепей, работающих в различных диапазонах длин волн.

1.3.3. Вопросы для самопроверки по теме 3

- 1) Каково назначение входной цепи приемника?
- 2) Нарисуйте электрические схемы одноконтурных входных цепей с различными видами связи с антенной и следующим каскадом и поясните их достоинства и недостатки.
- 3) Нарисуйте АЧХ одноконтурной входной цепи и поясните, как определяется ее полоса пропускания.
- 4) Поясните достоинства емкостной перестройки входной цепи по сравнению с индуктивной перестройкой.
- 5) Поясните особенности режимов удлинения и укорочения одноконтурной входной цепи с трансформаторной связью с антенной.
- 6) Нарисуйте электрическую схему двухконтурных входной цепи с трансформаторной связью с антенной и следующим каскадом и поясните, из каких соображений выбирается связь между контурами.
- 7) Поясните роль согласования входной цепи с приемной антенной и сле-

дующим каскадом.

7) Охарактеризуйте особенности конструктивного исполнения входных цепей, работающих в различных диапазонах длин волн.

1.4. Тема 4. Усилители радиочастоты

1.4.1. Содержание темы 4

Классификация, основные характеристики и электрические схемы усилителей радиочастоты. Анализ резонансных усилителей с автотрансформаторной и трансформаторной связью контура с активным элементом.

Входная динамическая проводимость резонансного усилителя и ее влияние на устойчивость усилителя. Методы повышения устойчивости резонансных усилителей.

Особенности элементной базы УРЧ в области сверхвысоких частот (СВЧ). Литература по теме 4: [2, п.п. 4.1, 4.2], [3, п.п. 3.1...3.6], [5, п. 4].

1.4.2. Методические указания по теме 4

Усилитель радиочастоты (УРЧ) предназначен для предварительного усиления принимаемого сигнала и обеспечения вместе с входной цепью заданной частотной избирательности по побочным каналам приема.

Обычно УРЧ представляет собой перестраиваемый резонансный усилитель, каскады которого выполнены на биполярных (полевых) транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером (исток) или по схеме с общей базой (затвором).

К особенностям каскада УРЧ на биполярном транзисторе, включённом по схеме с общим эмиттером, относится:

- усиление сигнала по напряжению и по току и, как следствие, большее усиление сигнала по мощности по сравнению со схемой с общей базой;
- низкое входное сопротивление, что вызывает необходимость частичного подключения каскада к LC -контур предшествующей части схемы;
- внутренняя частотно-зависимая обратная связь между коллектором и базой транзистора, которая может служить причиной самовозбуждения многокаскадных УРЧ.

Каскад УРЧ на биполярном транзисторе, включённом по схеме с общей базой, усиливает сигнал только по напряжению и имеет наименьшее входное сопротивление среди других схем включения транзистора. Однако частотно-зависимая обратная связь у такого каскада существенно меньше, чем у каскада с общим эмиттером, что повышает его устойчивость и увеличивает граничную частоту усиления.

Каскад УРЧ на полевом транзисторе, включенном по схеме с общим истоком, имеет достаточно высокое входное сопротивление, что допускает полное подключение такого каскада к LC -контур предшествующего каскада.

Для уменьшения коэффициента шума в первых каскадах УРЧ используют, как правило, малошумящие маломощные транзисторы.

Необходимо изучить каскад УРЧ с автотрансформаторной связью LC -

контура с транзистором и нагрузкой и уметь анализировать комплексный коэффициент передачи такого каскада, а также его АЧХ и ФЧХ.

Следует изучить влияние внутренней обратной связи, существующей в транзисторах, на устойчивость резонансных усилительных каскадов, и знать методы повышения устойчивости. Необходимо рассмотреть влияние на работу УРЧ паразитных связей, обусловленных цепями питания, и знать методы уменьшения этих связей.

В диапазоне СВЧ для уменьшения коэффициента шума и повышения реальной чувствительности приемников применяются УРЧ на туннельных диодах и лампах обратной волны, а также параметрические и молекулярные усилители.

1.4.3. Вопросы для самопроверки по теме 4

- 1) Поясните назначение и перечислите основные характеристики УРЧ.
- 2) Поясните достоинства и недостатки усилительных каскадов на биполярных транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером и общей базой.
- 3) Нарисуйте принципиальные электрические и эквивалентные схемы каскадов УРЧ с автотрансформаторным и трансформаторным включением LC -контура в коллекторную цепь транзистора.
- 4) Проанализируйте резонансный коэффициент усиления каскада УРЧ с автотрансформаторным включением LC -контура в коллекторную цепь транзистора.
- 5) Проанализируйте резонансный коэффициент усиления каскада УРЧ с трансформаторным включением LC -контура в коллекторную цепь транзистора.
- 6) Поясните причины возникновения паразитных обратных связей внутри транзисторов и через цепи питания многокаскадных УРЧ.
- 7) Нарисуйте принципиальную электрическую схему каскада УРЧ с цепью нейтрализации внутренней обратной связи транзистора.
- 8) Нарисуйте принципиальную электрическую схему двухкаскадного УРЧ, у которого первый каскад построен по схеме с общим эмиттером, а второй — по схеме с общей базой и поясните причины повышения его устойчивости.

1.5. Тема 5. Усилители промежуточной частоты

1.5.1. Содержание темы 5

Назначение, классификация, характеристики и электрические схемы УПЧ. Анализ УПЧ с одноконтурными каскадами, настроенными на одну частоту. Особенности УПЧ с двухконтурными каскадами и с фильтрами сосредоточенной избирательности (ФСИ). Принцип действия, основные характеристики и особенности включения электромеханических и пьезоэлектрических ФСИ в каскадах УПЧ.

Литература по теме 5: [2, п. 4.5], [3, п.п. 3.10...3.12], [4, п.п. 4.1...4.3], [5, п. 5].

1.5.2. Методические указания по теме 5

Усилитель промежуточной частоты обеспечивает основное усиление при-

нимаемого сигнала, а также частотную избирательность приемника по соседнему каналу (см. п. 1.1.2).

Обычно УПЧ представляет собой неперестраиваемый резонансный усилитель, настроенный на фиксированную промежуточную частоту.

Различают УПЧ с распределенной и сосредоточенной избирательностью. УПЧ с распределенной избирательностью представляет собой многокаскадный усилитель, каждый каскад которого содержит частотно-избирательную цепь. При этом основное применение находят УПЧ либо с одноконтурными каскадами, каждый из которых содержит один LC -контур, либо с двухконтурными каскадами, каждый из которых содержит два связанных LC -контура.

В УПЧ с сосредоточенной избирательностью усиление обеспечивается широкополосным усилителем, реализуемым обычно в виде интегральной микросхемы, а частотная избирательность — фильтром сосредоточенной избирательности (пьезоэлектрическим, электромеханическим, на LC -контурах и т.п.).

Следует обратить внимание на то, что анализ частотных характеристик каскадов УПЧ и УРЧ выполняется по одной и той же методике.

1.5.3. Вопросы для самопроверки по теме 5

- 1) Каковы назначение и особенности настройки УПЧ?
- 2) Назовите основные характеристики УПЧ.
- 3) Поясните, почему именно УПЧ обеспечивает основное усиление принимаемого сигнала, а также частотная избирательность по соседнему каналу.
- 4) Нарисуйте электрическую схему двухкаскадного УПЧ с одноконтурными, а затем с двухконтурными каскадами.
- 5) Назовите достоинства и недостатки УПЧ с распределённой избирательностью.
- 6) Каковы достоинства и недостатки УПЧ с сосредоточенной избирательностью?
- 7) Какие типы фильтров сосредоточенной избирательности используют в радиоприемниках, и каковы принципы их работы?
- 8) Нарисуйте схемы каскадов УПЧ с электромеханическим и пьезоэлектрическим фильтрами и поясните особенности включения этих фильтров.

1.6. Тема 6. Преобразователи частоты

1.6.1. Содержание темы 6

Классификация преобразователей частоты. Схемы транзисторных преобразователей частоты. Анализ преобразователя частоты на невзаимном усилительном элементе. Амплитудно-частотная характеристика транзисторного преобразователя частоты. Анализ диодного преобразователя частоты. Особенности балансных преобразователей частоты.

Требования, предъявляемые к гетеродинам приемников. Электрические схемы гетеродинов.

Супергетеродинные приемники с многократным преобразованием частоты.

Литература по теме 6: [2, п.п. 6.1...6.3], [3, п.п. 4.7...4.10], [4, п.п. 5.4, 5.5], [5, п. 6].

1.6.2. Методические указания по теме 6

Преобразователь частоты состоит из смесителя и гетеродина (см. рис. 1.4) и обеспечивает сдвиг спектра принимаемого сигнала с несущей частоты на промежуточную частоту без изменения формы спектра и вида модуляции. Смеситель может быть реализован в виде нелинейной или параметрической цепи, параметры которых изменяются периодически под действием сигнала гетеродина.

Амплитуда сигнала гетеродина, подаваемого на смеситель, как правило, значительно превышает амплитуду принимаемого сигнала. Под действием сигнала гетеродина изменяются параметры смесителя (обычно, крутизна вольт-амперной характеристики нелинейного элемента), что обеспечивает реализацию операции перемножения принимаемого сигнала и сигнала гетеродина.

На рис. 1.6 изображена АЧХ транзисторного смесителя, выполненного по схеме резонансного усилителя, настроенного на промежуточную частоту. Частотная характеристика (рис. 1.6) соответствует верхней настройке гетеродина, когда частота гетеродина выше частоты принимаемого сигнала.

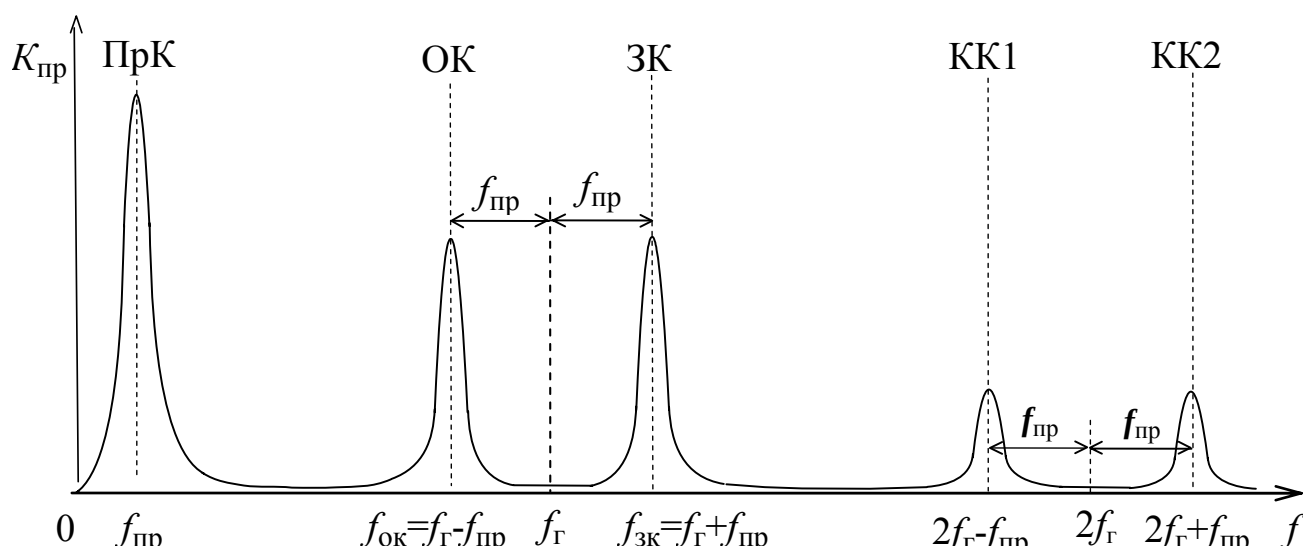


Рис. 1.6 — Амплитудно-частотная характеристика транзисторного преобразователя частоты

Сокращенные условные обозначения, используемые на рис. 1.6, совпадают с аналогичными обозначениями, используемыми на рис. 1.5.

В случае попадания сигнала промежуточной частоты $f_{пр}$ на вход смесителя, последний усиливает его как обычный резонансный усилитель. Такой сигнал принято называть “прямой канал” (ПрК), поскольку для него смеситель и последующие блоки представляют собой приемник прямого усиления.

Так как реальные гетеродины вырабатывают периодический сигнал, форма которого отличается от синусоидальной, то это вызывает появление в спектре сигнала гетеродина высших гармоник. Поэтому в смесителе принимаемый сиг-

нал перемножается со всеми гармониками сигнала гетеродина, в результате чего образуется множество составляющих с комбинационными частотами $(mf_{\Gamma} \pm f_c)$, где $m = 0, 1, 2, \dots$. В результате, каждый раз, когда частота принимаемого сигнала отстоит от частоты одной из гармоник гетеродина на промежуточную частоту, в смесителе образуется составляющая промежуточной частоты, которая усиливается смесителем. На рис. 1.6 сигналы, частоты которых отстоят влево и вправо от первой гармоники гетеродина на промежуточную частоту называются “основной канал” (ОК) и “зеркальный канал” (ЗК), а сигналы, частоты которых отстоят слева и справа от второй и последующих гармоник гетеродина, называются комбинационными каналами (КК₁, КК₂ и т.п.).

Следует обратить внимание на то, что форма всех гребней АЧХ (рис. 1.6) определяется формой АЧХ частотно-избирательной цепи, используемой в качестве нагрузки смесителя. Поэтому все гребни имеют одну и ту же полосу пропускания, отсчитываемую на заданном уровне относительно максимума гребня.

Максимумы второго и третьего гребней АЧХ меньше максимума первого гребня, соответствующего усилительному режиму смесителя. Максимумы гребней АЧХ уменьшаются с ростом номера гармоники гетеродина, поскольку амплитуды высших гармоник меньше амплитуды первой гармоники. (см. четвертый и пятый гребни АЧХ на рис. 1.6). Поэтому, как правило, в супергетеродинных приемниках используется преобразование частоты на первой гармонике гетеродина.

Для более эффективного преобразования частоты рабочую точку нелинейного элемента смесителя следует выбирать в середине участка проходной вольтамперной характеристики транзистора, близкого к квадратичному.

Следует знать электрические схемы, принцип работы и особенности преобразователей частоты на биполярных и полевых транзисторах.

Паразитная связь цепей гетеродина и преселектора приводит к ухудшению стабильности частоты гетеродина и нежелательному излучению приёмной антенной сигнала гетеродина. Поэтому в радиоприёмных устройствах стремятся к возможно большей развязке цепей сигнала и гетеродина.

Широкое применение в приёмниках находят балансные преобразователи частоты, которые имеют следующие преимущества:

- существенное уменьшение первого максимума АЧХ (см. рис. 1.6), что эквивалентно увеличению подавления прямого канала;
- увеличение развязки между преселектором, гетеродином и трактом УПЧ;
- уменьшение влияния шумов преселектора и гетеродина.

Среди транзисторных балансных преобразователей частоты следует обратить особое внимание на четырёхквadrантный перемножитель сигналов, часто называемой в технической литературе схемой (ячейкой) Гильберта. Указанный перемножитель построен на базе транзисторных дифференциальных усилительных каскадов и в настоящее время находит широкое применение в схемотехнике приемников.

Необходимо изучить схемы и особенности работы диодных балансных

смесителей на двух и четырех диодах, которые применяют, главным образом, в диапазоне СВЧ.

Следует знать соображения по выбору промежуточной частоты приёмника, которые обычно являются компромиссом между противоречивыми требованиями, предъявляемыми к параметрам приёмника.

Необходимо изучить схемы гетеродинов (LC -автогенераторы, кварцевый генератор Батлера) и знать меры, применяемые для повышения стабильности частоты гетеродинов (использование термокомпенсированных индуктивностей и емкостей, ослабление связи LC -контура с транзистором, стабилизация напряжения питания и пр.).

Следует знать принципы построения и основные достоинства цифровых синтезаторов частоты.

Необходимо рассмотреть принцип построения приемников с двукратным преобразованием частоты, который позволяет повысить чувствительность и частотную избирательность приемника. В частности, следует изучить особенности настройки и работы инфрадина.

1.6.3. Вопросы для самопроверки по теме 6

- 1) Назовите основные характеристики преобразователя частоты.
- 2) Нарисуйте электрическую схему преобразователя частоты на биполярном транзисторе и поясните ее работу.
- 3) Нарисуйте схему преобразователя частоты на полевом транзисторе с двумя затворами и поясните его работу.
- 4) Нарисуйте схемы диодного балансного преобразователя частоты и поясните его достоинства и недостатки.
- 5) Нарисуйте электрические схемы гетеродинов, построенных по схеме емкостной и индуктивной трехточки, и поясните их условия самовозбуждения.
- 6) Нарисуйте схему кварцевого генератора Батлера и поясните ее работу.
- 7) Нарисуйте структурную схему приемника с двукратного преобразования частоты и поясните его преимущества, по сравнению с приемником с однократным преобразованием частоты.
- 8) Поясните особенности инфрадина и нарисуйте частотную диаграмму расположения его возможных каналов приема.

1.7. Тема 7. Детекторы сигналов с амплитудной модуляцией

1.7.1. Содержание темы 7

Назначение, классификация и основные характеристики амплитудных детекторов. Схемы и принцип действия последовательного и параллельного диодных амплитудных детекторов. Квадратичный и линейный режимы детектирования. Схемы и принцип действия транзисторных амплитудных детекторов. Пиковые детекторы импульсных радиосигналов.

Литература по теме 7: [2, п.п. 7.1...7.3], [3, п. 5.1...5.5], [4, п.п. 7.1...7.2], [5, п. 8].

1.7.2. Методические указания по теме 7

Амплитудные детекторы предназначены для преобразования амплитудно-модулированного (АМ) радиосигнала в низкочастотный сигнал, повторяющий по форме огибающую АМ сигнала.

Операция детектирования может быть реализована либо с помощью нелинейных цепей, построенных на основе полупроводниковых диодов и транзисторов, либо с помощью параметрических цепей с периодически изменяющимися параметрами.

Наиболее простыми являются детекторы на полупроводниковых диодах. Поскольку напряжение отпираания маломощных германиевых диодов составляет $0,1 \dots 0,2$ В, а кремниевых — $0,5 \dots 0,7$ В, то обычно в радиоприемниках применяются амплитудные детекторы на германиевых диодах, что при прочих равных условиях позволяет повысить чувствительность приемника или уменьшить коэффициент усиления линейного тракта приемника.

Следует знать основные характеристики амплитудного детектора: детекторная и частотная характеристики, коэффициент передачи, коэффициенты линейных и нелинейных искажений, входное и выходное сопротивления, коэффициент фильтрации.

Необходимо изучить схемы и принцип действия последовательного и параллельного диодных амплитудных детекторов.

Если амплитуда входного сигнала меньше напряжения отпираания диода амплитудный детектор работает на нелинейном участке AB вольтамперной характеристики (ВАХ) диода (рис 1.7). При этом выходной сигнал детектора изменяется непропорционально амплитуде детектируемого сигнала. Если рабочий участок ВАХ достаточно точно аппроксимируется параболой, то такой режим детектирования называется квадратичным.

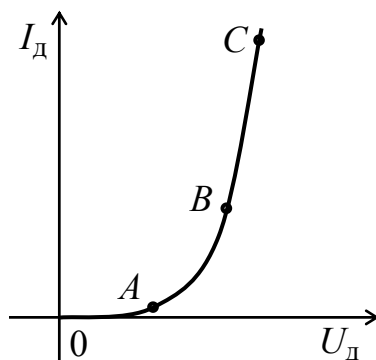


Рис. 1.7 — Вольтамперная характеристика диода

Режим квадратичного детектирования может использоваться при детектировании слабых сигналов (менее 100 мВ) в приёмниках, в которых форма выходного сигнала детектора не обязательно должна повторять форму огибающей принятого радиосигнала (радиолокационные приемники, цифровые и т.п.).

Если детектор работает на участке BC (см. рис. 1.7), близком к прямой линии, то его выходной сигнал изменяется пропорционально амплитуде детектируемого сигнала. Такой режим работы детектора называется линейным и ис-

пользуется при детектировании сильных сигналов (более 500 мВ) в радиовещательных, связных и телевизионных приёмниках, в которых форма выходного сигнала детектора должна как можно точнее повторять форму огибающей принятого радиосигнала.

Необходимо уяснить, что при детектировании сильных сигналов детектор работает с отсечкой тока диода. Угол отсечки зависит от крутизны ВАХ диода и сопротивления нагрузки детектора.

Коэффициент передачи амплитудного детектора при линейном детектировании сигнала (1.2) определяется по формуле

$$K_d = \frac{U_{нч}}{mU}, \quad (1.11)$$

где $U_{нч}$ — действующее значение низкочастотной переменной составляющей выходного напряжения детектора; U — действующее значение входного сигнала детектора при отсутствии модуляции.

Частотной характеристикой амплитудного детектора называется зависимость коэффициента передачи (1.11) от частоты F модулирующего сигнала. Вид частотной характеристики (рис. 1.8) определяется RC -фильтром, входящим в состав детектора.

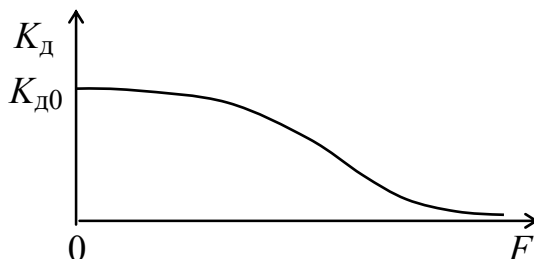


Рис. 1.8 — Частотная характеристика амплитудного детектора

Постоянная времени RC -фильтра детектора выбирается из условия

$$\frac{1}{2\pi f_{пр}} \ll R_n C_n \ll \frac{1}{2\pi F_{max}}, \quad (1.12)$$

где $f_{пр}$ — промежуточная частота приемника; F_{max} — максимальная частота сообщения, т.е. модулирующего сигнала.

Следует изучить принцип работы транзисторного амплитудного детектора, его характеристики, основные свойства, преимущества и недостатки.

Пиковые детекторы используются для детектирования импульсных радиосигналов и имеют более высокое быстродействие по сравнению с обычными детекторами.

1.7.3. Вопросы для самопроверки по теме 7

- 1) Поясните назначение и место включения амплитудного детектора в приемнике.
- 2) Перечислите основные характеристики амплитудного детектора.
- 3) Нарисуйте схемы последовательного и параллельного диодных амплитудных детекторов, а также временные диаграммы, поясняющие их работу.
- 4) Поясните особенности квадратичного и линейного режимов работы диодного амплитудного детектора и укажите области их применения.
- 5) Из каких соображений выбирается постоянная времени RC -фильтра амплитудного детектора?
- 6) Какова частотная характеристика амплитудного детектора?
- 7) Чем отличается диодный амплитудный детектор от однополупериодного диодного выпрямителя?
- 8) Нарисуйте схему транзисторного амплитудного детектора и поясните его работу.

1.8. Тема 8. Детекторы сигналов с угловой модуляцией

1.8.1. Содержание темы 8

Структурная схема и принцип работы приемника сигналов с угловой модуляцией. Классификация и характеристики ограничителей амплитуды. Схемы и принцип действия диодных и транзисторных ограничителей амплитуды.

Назначение, классификация и характеристики частотных детекторов. Частотный детектор с двумя расстроенными контурами. Частотный детектор с двумя связанными контурами. Частотный детектор отношений. Частотный детектор с фазосдвигающим контуром.

Классификация и характеристики фазовых детекторов. Фазовый детектор на основе транзисторного перемножителя сигналов. Диодный балансный фазовый детектор. Двойной диодный балансный фазовый детектор.

Литература по теме 8: [2, п.п. 7.6...7.8], [3, п.п. 5.7...5.11], [4, п.п. 7.3...7.5], [5, п. 9].

1.8.2. Методические указания по теме 8

Детекторы сигналов с угловой модуляцией предназначены для преобразования радиосигналов с частотной или фазовой модуляцией в напряжение или ток, которые повторяют закон модуляции.

Детекторы сигналов с угловой модуляцией принято делить на частотные детекторы (ЧД) и фазовые детекторы (ФД). Выходное напряжение ЧД, пропорционально мгновенному отклонению частоты детектируемого сигнала от ее среднего значения. Выходное напряжение ФД пропорционально фазовому сдвигу между детектируемым и опорным сигналами.

Поскольку ЧД и ФД реагируют не только на изменение частоты и фазы детектируемого сигнала, но и на изменение его амплитуды, то перед детектированием сигналы с угловой модуляцией ограничивают по амплитуде с целью подавление паразитной амплитудной модуляции.

При изучении ограничителей следует обратить внимание на различие принципов построения шунтирующих ограничителей и ограничителей с изменяющимся углом отсечки тока. Шунтирующие ограничители реализуют, как правило, на диодах и применяют до весьма высоких частот, но их подключение к резонансным каскадам вызывает уменьшение добротности LC -контуров, что не всегда желательно. Ограничители с переменным углом отсечки меньше шунтируют частотно-избирательные цепи, но могут работать на менее высоких частотах, чем шунтирующие ограничители.

Изучение частотного детектирования следует начать с изучения частотно-амплитудных ЧД, в которых ЧМ сигнал преобразуется в АМ сигнал с последующим амплитудным детектированием. При этом частотная модуляция сохраняется, т.е. сигнал имеет двойную модуляцию ЧМ-АМ, что не мешает его амплитудному детектированию. К таким ЧД относятся: детектор с двумя расстроенными контурами, детектор с двумя связанными контурами и детектор отношений. Частотный детектор отношений в отличие от других ЧД не требует предварительного ограничения амплитуды детектируемого сигнала, так как он сам обеспечивает такое подавление. Кроме того, одно из выходных напряжений детектора отношений может быть использовано в качестве управляющего для автоматической регулировки усиления приёмника.

Детекторная характеристика частотных детекторов (рис. 1.9), как правило, симметрична относительно начала координат, что обеспечивает подавление четных гармоник детектируемого сигнала.

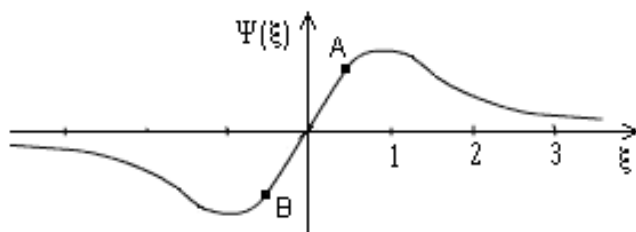


Рис. 1.9 — Типовая детекторная характеристика частотно-амплитудного ЧД

Детекторная характеристика наиболее линейна в средней ее части (участок АВ на рис. 1.9), которая обычно используется в качестве рабочего участка. При изучении ЧД с двумя расстроенными контурами следует обратить внимание на оптимальное значение расстройки контуров, а при изучении ЧД с двумя связанными контурами и детектора отношений — на оптимальное значение коэффициента связи между контурами, при которых достигается наилучшая линейность рабочего участка детекторной характеристики указанных детекторов.

В настоящее время широкое применение в вещательных и связных приемниках находит частотно-фазовый ЧД, в котором частотно модулированный сигнал преобразуется в сигнал с дополнительной фазовой модуляцией, получаемой с помощью фазосдвигающего LC -контура. Затем сигнал, полученный описанным образом, детектируется фазовым детектором, построенным на базе аналогового перемножителя сигналов.

Изучение фазового детектирования целесообразно начать с анализа работы

обобщенной структурной схемы фазового детектора, состоящей из перемножителя сигналов и фильтра нижних частот. Следует обратить внимание на то, что фазовый детектор в отличие от частотного детектора имеет два входа, на один из которых подается сигнал, модулированный по фазе, а на другой — опорный немодулированный сигнал. Необходимо изучить особенности формирования опорного сигнала, а также возможности линеаризации рабочего участка детекторной характеристики ФД.

Использование ключевого режима работы балансных ФД в значительной степени уменьшает влияние различия параметров используемых диодов и транзисторов, на линейность рабочего участка детекторной характеристики ФД.

1.8.3. Вопросы для самопроверки по теме 8

1) Поясните, с какой целью ограничивают амплитуду сигналов с угловой модуляцией перед их детектированием.

2) Нарисуйте электрическую схему диодного ограничителя амплитуды и поясните принцип его действия.

3) Нарисуйте электрическую схему транзисторного ограничителя амплитуды, выполненного на дифференциальных усилительных каскадах, и поясните принцип его действия.

4) Нарисуйте электрическую схему и поясните принцип действия ЧД с двумя расстроенными LC -контурами.

5) Нарисуйте электрическую схему и поясните принцип действия ЧД с двумя связанными LC -контурами.

6) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия ЧД на перемножителе с фазосдвигающим LC -контуром.

7) Нарисуйте обобщенную структурную схему фазового детектора на основе перемножителя и поясните ее принцип действия.

8) Нарисуйте электрическую схему и поясните принцип действия балансного диодного фазового детектора.

1.9. Тема 9. Регулировки в радиоприёмнике

1.9.1. Содержание темы 9

Назначение, классификация и характеристики регулировок радиоприёмника. Структурная схема приёмника с основными регулировками. Электрические схемы и принцип действия каскадов с регулируемым коэффициентом передачи.

Структурные схемы и принцип действия систем автоматической регулировки усиления (АРУ): прямой, обратной, комбинированной, быстродействующей и временной. Глубина регулировки и быстродействие обратной АРУ.

Структурная схема и принцип действия частотной автоматической подстройки частоты (АПЧ). Основные характеристики частотной АПЧ. Структурная схема и принцип действия фазовой АПЧ. Основные характеристики фазовой АПЧ.

Литература по теме 9: [1, п. 6], [2, п. 8], [3, п.п. 6.1...6.5, 6.8...6.11], [5, п. 10].

1.9.2. Методические указания по теме 9

Регулировки приемника предназначены для согласования параметров приемника с параметрами принимаемым сигналом, а также для согласования выходного сигнала приемника с параметрами исполнительного устройства.

Различают ручные и автоматические регулировки приемника. К ручным эксплуатационным регулировкам относятся: настройка, громкость, тембр, стереобаланс, усиление УПЧ, вид демодуляции и др. К автоматическим регулировкам относятся: автоматическая регулировка усиления (АРУ) и автоматическая подстройка частоты (АПЧ).

Система АРУ предназначена для удержания уровня выходного сигнала УПЧ в узком динамическом диапазоне при изменении уровня принимаемого сигнала в широком динамическом диапазоне. Причинами изменений уровня принимаемого сигнала являются: различие радиостанций по мощности и удалению от места приема, изменение условий распространения радиоволн и пр.

Изучение систем АРУ следует начать с рассмотрения разновидностей схем электронных регуляторов уровня сигнала, а затем перейти к изучению разновидностей систем АРУ (прямая, обратная, комбинированная). Следует ознакомиться со структурными схемами простого и задержанного АРУ. Наибольшее распространение в приемниках находит обратная АРУ, что обусловлено простотой ее схемотехнической реализации и достаточно широким динамическим диапазоном регулирования.

При изучении каскадов с регулируемым коэффициентом передачи следует обратить внимание на зависимость параметров регулируемых элементов от управляющего напряжения или тока и влияние этих элементов на резонансные цепи каскадов УРЧ и УПЧ. При изучении обратной АРУ необходимо учитывать возможность ее самовозбуждения при неправильном выборе параметров фильтра в цепи обратной связи системы АРУ.

Система АПЧ предназначена для поддержания постоянства промежуточной частоты приемника, причинами изменения которой могут быть изменения как частоты принимаемого сигнала, так и частоты гетеродина.

Следует обратить внимание на две основные разновидности АПЧ: частотную АПЧ (ЧАПЧ) и фазовую АПЧ (ФАПЧ).

Поскольку ЧАПЧ реагирует на изменение промежуточной частоты, то ЧАПЧ подстраивает эту частоту с точностью до некоторого отклонения по частоте, что свидетельствует о статическом характере ЧАПЧ, поскольку в ней имеет место некоторая постоянная (статическая) погрешность подстройки частоты. Фазовая АПЧ реагирует на изменение фазы сигнала промежуточной частоты и подстраивает эту частоту с погрешностью, которая практически равна нулю, что свидетельствует об астатическом (нестатическом) характере системы ФАПЧ.

При изучении систем АПЧ обратите внимание на метод построения зависимости установившегося отклонения от начального отклонения промежуточной частоты для системы ЧАПЧ. Необходимо уметь указать на этой зависимости расположение полосы захвата и полосы удержания и пояснить, какие блоки систем ЧАПЧ определяют ширину этих полос. Следует обратить внимание на

отличительные особенности аналогичной зависимости для системы ФАПЧ по сравнению с системой ЧАПЧ.

1.9.3. Вопросы для самопроверки по теме 9

- 1) Нарисуйте структурную схему приемника с основными ручными и автоматическими регулировками и поясните их назначение.
- 2) Нарисуйте электрическую схему резонансного усилительного каскада с электронным управлением коэффициентом усиления и поясните принцип его действия.
- 3) Нарисуйте электрическую схему диодного аттенюатора с электронным управлением коэффициентом затухания и поясните принцип его действия
- 4) Нарисуйте структурные схемы прямой и обратной АРУ, поясните их принцип действия, отметив их достоинства и недостатки.
- 5) Поясните, чем определяется быстродействие АРУ.
- 6) Нарисуйте структурные схемы ЧАПЧ и ФАПЧ, поясните их работу, отметив их достоинства и недостатки.
- 7) Дайте определение полос удержания и захвата частоты системы АПЧ и поясните, какими блоками они определяются в системах ЧАПЧ и ФАПЧ.
- 8) Дайте определение коэффициента подстройки частоты системы АПЧ.

1.10. Тема 10. Приемники непрерывных сигналов

1.10.1. Содержание темы 10

Синхронное детектирование АМ сигналов. Приемники однополосных сигналов. Приемники сигналов с частотной и фазовой модуляцией. Структурная схема и принцип действия стереофонического приемника. Стереodeкодеры комплексного стереосигнала с полярной модуляцией и с пилот-тоном.

Литература по теме 10 [2, п.п. 11.2, 13], [3, п. 8.7...8.10, 10.3], [4, п. 15.2].

1.10.2. Методические указания по теме 10

Синхронное детектирование АМ сигналов можно рассматривать как разновидность преобразования частоты, при котором частота сигнала гетеродина равна частоте несущей принимаемого сигнала. В случае приема АМ сигнала, на выходе синхронного детектора образуется сигнал, повторяющий закон модуляции, то есть такой же, как на выходе обычного амплитудного детектора (см. п. 1.7). Синхронный детектор детектирует сигналы с любым видом амплитудной модуляции.

Необходимо рассмотреть особенности построения приемников однополосных АМ сигналов с полной, частично подавленной и полностью подавленной несущей.

Стереовещание осуществляется путем передачи ЧМ сигналов, частота которых изменяется по закону комплексного стереосигнала (КСС), который содержит информацию о двух звуковых сигналах, воспринимаемых слушателем с левой и правой сторон и называемых левым и правым звуковыми сигналами соответственно. В настоящее время в стереовещании используются КСС с по-

лярной модуляцией и КСС с пилот-тоном, отличающиеся структурой спектра.

В стереофоническом приемнике принятый ЧМ сигнал усиливается, ограничивается по амплитуде и поступает на частотный детектор, который преобразует его в КСС. Для выделения из КСС левого и правого звуковых сигналов применяется стереодекодер. Следует изучить структурные схемы и принцип действия основных видов стереодекодеров: полярного детектора, суммарно-разностного стереодекодера и коммутационного (синхронного) стереодекодера.

1.10.3. Вопросы для самопроверки по теме 10

- 1) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия синхронного детектора.
- 2) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия приемника однополосного сигнала с частично подавленной несущей.
- 3) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия приемника однополосного сигнала с полностью подавленной несущей.
- 4) Нарисуйте спектральные диаграммы комплексных стереосигналов с полярной модуляцией и с пилот-тоном и поясните их особенности.
- 5) Нарисуйте структурную схему стереофонического приемника и поясните его работу.
- 6) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия полярного детектора.
- 7) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия суммарно-разностного стереодекодера.
- 8) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия коммутационного стереодекодера.

1.11. Тема 11. Помехоустойчивость радиоприема

1.11.1. Содержание темы 11

Проблема помехоустойчивости и пути ее решения. Общая характеристика методов ослабления помех. Методы подавления импульсных помех. Методы подавления флуктуационных помех. Согласованная фильтрация. Квадратурное детектирование сигналов. Принципы построения приемника с цифровой обработкой сигнала. Проблемы и перспективы развития радиосвязи.

Литература по теме 10: [2, п.п. 9, 14], [3, п. 7, 10.4], [4, п. 11.1, 11.2, 12.4, 14].

1.11.2. Методические указания по теме 11

Методы подавления помех основаны на использовании отличительных особенностей сигнала и помехи. Поэтому повышение помехоустойчивости радиоприёма неразрывно связано с разработкой и усовершенствованием методов обработки сигнала.

Для подавления импульсных помех, амплитуда которых существенно превышает уровень полезного сигнала, применяется амплитудное ограничение по максимуму, при котором порог ограничения выбирается несколько больше ам-

плитуды полезного сигнала. В результате такого ограничения отношение амплитуды сигнала к амплитуде помехи, которое до ограничения было много меньше единицы, приближается к ней. Для подавления импульсных помех, амплитуда которых существенно меньше уровня полезного сигнала, применяется амплитудное ограничение по минимуму, при котором порог ограничения выбирается меньше амплитуды полезного сигнала, но больше уровня помех.

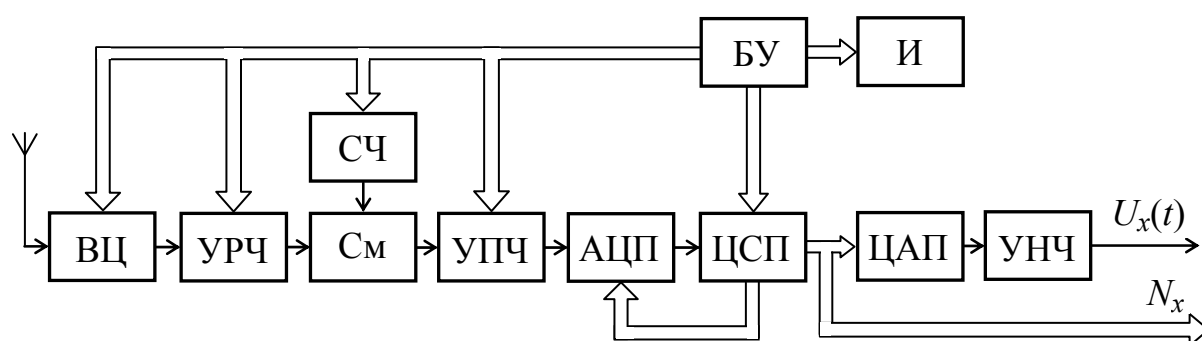
Более эффективным методом подавления импульсных помех является использование системы ШОУ, название которой составлено из начальных букв в названиях блоков, из которых состоит система: широкополосный усилитель, ограничитель амплитуды и узкополосный усилитель.

Для подавления стационарных флуктуационных помех применяются компенсационные методы, а также согласованная фильтрация.

Квадратурное детектирование используется с целью повышения помехоустойчивости приема амплитудно-манипулированных радиосигналов с неизвестной начальной фазой.

Среди современных методов обработки сигналов ведущее место занимает цифровая обработка, которая позволяет повысить помехоустойчивость радиоприёма за счёт использования методов обработки, не реализуемых в аналоговом виде.

На рис. 1.8 изображена структурная схема приемника с цифровой обработкой сигнала.



АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ЦСП — цифровой сигнальный процессор; ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь; СЧ — синтезатор частоты; БУ — блок управления; И — индикатор.

Рис. 1.8 — Структурная схема приемника с цифровой обработкой сигнала

Аналоговый сигнал с выхода УПЧ поступает на АЦП, который преобразует его в цифровой сигнал. Затем этот сигнал обрабатывается с помощью цифрового сигнального процессора ЦСП. Выходной сигнал N_x процессора преобразуется с помощью ЦАП в аналоговый сигнал, который усиливается с помощью УНЧ. Усиленный аналоговый сигнал $U_x(t)$ подается на аналоговое исполнительное устройства (динамическую головку, телефоны, реле и т.п.). В свою очередь, цифровой сигнал N_x может быть подан на цифровое исполнительное устройство (микроконтроллер, персональный компьютер и т.п.) для дальнейшей обработки.

Управление основными регулировками приемником (настройка, вид демодуляции, усиление и т.п.), а также запоминание частот настройки реализуются программным путем с помощью блока управления. Индикатор И обеспечивает индикацию частоты настройки приемника, вида принимаемого излучения, параметров режима работы приемника и пр.

Быстрое развитие и совершенствование радиотехнической интегральной элементной базы обеспечивает постоянное обновление поколений приемников.

1.11.3. Вопросы для самопроверки по теме 11

- 1) В чем состоит проблема помехоустойчивости радиоприема?
- 2) Поясните методы подавления импульсных помех путем ограничения сигнала по максимуму и по минимуму.
- 3) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип работы системы ШОУ.
- 4) Нарисуйте структурную схему и поясните принцип действия квадратурного детектора.
- 5) Нарисуйте структурную схему и поясните его принцип действия согласованного фильтра.
- 6) Назовите основные преимущества цифровой передачи сигналов по сравнению с аналоговой передачей.
- 7) Нарисуйте структурную схему приемника с цифровой обработкой сигнала и поясните его работу.
- 8) Охарактеризуйте проблемы и перспективы развития радиосвязи.

2. ЗАДАЧИ И УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Выполнение контрольной работы и ее защита

Выполнение контрольной работы имеют своей целью систематизацию, закрепление и углубление теоретических знаний по первой части изучаемой дисциплины.

Контрольная работа состоит из шести заданий, каждое из которых включает теоретические вопросы, а также задачу, связанную с одной из тем дисциплины.

Индивидуальные варианты исходных данных для каждого задания выбираются из таблиц **в соответствии с порядковым номером фамилии студента в списке группы**.

На протяжении семестра ведущим преподавателем проводятся консультации с целью разъяснения вопросов, вызвавших затруднения при изучении дисциплины и выполнении контрольной работы.

Во время защиты контрольной работы студент должен ответить на вопросы преподавателя, касающиеся выполненных заданий.

2.2 Правила оформления контрольной работы

Контрольная работа оформляется в соответствии с требованиями кафедры к оформлению текстовых документов [10] на листах белой бумаги стандартного формата А4 (210х297 мм). По краям листа должны быть оставлены поля: левое — 25 мм; верхнее и нижнее — 20 мм; правое — 15 мм.

При рукописном оформлении контрольной работы текст пишется чёрной, синей или фиолетовой пастой разборчивым почерком с одной стороны листа.

При компьютерном наборе текста используются шрифт размером 12 или 14 и междустрочный интервал — полуторный. Текст выравнивается по ширине. Каждый абзац текста должен начинаться с красной строки, имеющей отступ 10 ...12 мм.

Контрольная работа должна содержать:

- титульный лист (см. приложение Б);
- выполненные задания;
- библиографический список использованной литературы.

Ответы на вопросы и решение задачи, соответствующие каждому заданию, оформляются в виде отдельного раздела контрольной работы, который следует начинать с нового листа. Заголовки разделов следует писать в виде “**Задание №...**” с указанием номера задания и выравнивать по центру строки без абзацного отступа.

После заголовка необходимо привести формулировку задания с указанием исходных данных для расчёта в соответствии с выполняемым вариантом.

Расчетную часть задания необходимо начинать с подзаголовка “**Решение**”, который следует выравнивать по центру строки без абзацного отступа.

Каждой расчетной формуле должно предшествовать словесное описание выполняемого расчета, например, “Определяем устойчивый коэффициент усилительного каскада” или “Находим индуктивность LC -контура” и т.п.

Терминология и определения должны соответствовать установленным стандартам и общепринятым нормам научно-технической литературы.

При простановке знаков препинания следует помнить, что формулы являются такими же частями предложения, как и слова. Формулы вписываются в текст с выравниванием по центру строки. Формулы приводятся в буквенном виде, а затем с подставленными числовыми значениями величин и сопровождаются пояснениями буквенных обозначений, встречающихся впервые. При компьютерном наборе формул следует пользоваться редактором формул (*Equation* или *MathType*). Не допускается вставлять в текст расчетные формулы, скопированные из программ типа *Mathcad*, *Matlab* и т.п., поскольку в них могут содержаться символы, недопустимые для текстовых документов.

Числовые значения величин необходимо подставлять в формулы в основных единицах. Результаты расчетов следует округлять до третьей значащей цифры, например, $R \approx 12,3 \text{ Ом}$, $L \approx 0,0502 \text{ мкГн}$, $f = 134 \text{ кГц}$ и т.п.

Нумеровать необходимо только те формулы, на которые сделаны ссылки в последующем тексте. Номер формулы записывается арабскими цифрами в круглых скобках справа от формулы с выравниванием последней скобки по правой кромке текста.

Рисунки выполняются простым карандашом или чёрной пастой либо набираются на персональном компьютере с использованием программ *Word*, *Visio*, *Paint* и т.п. Каждый рисунок сопровождается подрисуночной подписью. Рисунок и подрисуночная подпись выравниваются по центру строки.

Нумерация страниц выполняется сквозная, начиная с титульного листа без пропусков, повторений и литерных добавлений. Первой страницей считается титульный лист, на котором цифра “1” не ставится. В верхнем правом углу страницы, следующей за титульным листом, проставляется цифра “2” и т.д.

В конце работы следует привести библиографический список литературы, ссылки на которую содержатся в тексте работы. Ссылка указывается в тексте в виде номера в квадратных скобках, под которым литературный источник упоминается в библиографическом списке.

Контрольные работы должны быть представлены для регистрации на кафедре не позднее срока, указанного деканатом.

2.3. Задание 1

Приемник подключен к антенне с помощью фидера, который имеет коэффициент передачи $K_{\text{ф}}$ и согласован с антенной и приемником. Известны коэффициент шума приемника N , шумовая температура антенны T_{Σ} , обусловленная действием внешних источников помех; физическая температура антенны T , а также сопротивление излучения R_{Σ} и сопротивление потерь R_{Π} антенны.

Перечислите источники внешних и внутренних помех радиоприему. Поясните, что называется шумовой температурой и КПД антенны.

Определите шумовую температуру и КПД приёмной антенны в полосе частот Π . Рассчитайте мощность и эффективную ЭДС шума, приведенные к входу приёмника. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Исходные данные к задаче 1

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Π , кГц	2	$5 \cdot 10^3$	1	4	0,1	1,5	6	300	$2 \cdot 10^3$	0,5
T_{Σ} , К	850	520	1000	200	1300	250	550	350	1200	650
T , К	240	310	290	305	260	315	270	300	240	295
R_{Σ} , Ом	120	110	250	75	60	280	150	270	320	110
R_{Π} , Ом	35	30	90	25	25	80	60	120	90	30
$K_{\text{ф}}$	0,2	0,6	0,1	0,5	0,8	0,7	0,4	0,3	0,9	0,1
N	5	30	3	6	1,5	4	8	15	25	2

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Π , кГц	$4 \cdot 10^3$	18	200	$6 \cdot 10^3$	50	80	200	10	30	8
T_{Σ} , К	360	1100	380	900	1600	450	180	320	250	750
T , К	260	320	290	230	310	280	275	260	310	240
R_{Σ} , Ом	80	40	50	100	35	270	240	120	60	80
R_{Π} , Ом	40	15	30	26	15	75	65	25	15	30
$K_{\text{ф}}$	0,3	0,2	0,8	0,3	0,1	0,5	0,4	0,7	0,2	0,9
N	50	6	16	80	12	9	14	10	28	5

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Π , кГц	4	100	10	200	6	150	3	22	$3 \cdot 10^3$	0,5
T_{Σ} , К	1500	650	250	450	1200	1400	950	850	1000	550
T , К	300	280	255	260	280	240	310	220	320	240
R_{Σ} , Ом	120	100	140	30	75	90	150	180	80	100
R_{Π} , Ом	28	25	50	10	35	40	60	90	30	40
K_{Φ}	0,75	0,3	0,9	0,1	0,7	0,6	0,8	0,2	0,4	1
N	5	15	7	25	4	20	3	10	35	2

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Помехи радиоприему”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [1, стр. 19...26], [2, стр. 28...34, 42...49], [3, стр. 22...24], [5, стр. 25...33], [6, стр. 104...108], [7, стр. 113...114].

Коэффициент полезного действия приёмной антенны определяется соотношением

$$\eta = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_{\Pi}}.$$

Эквивалентная шумовая температура приёмной антенны может быть рассчитана по формуле

$$T_A = T_{A\Pi} + T(1 - \eta).$$

Мощность шумов, приведенная к входу приёмника, определяется соотношением

$$P_{\text{ш вх}} = kT_0 \Pi \left(\frac{N}{K_{\Phi}} + \frac{T_A}{T_0} - 1 \right),$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град — постоянная Больцмана; $T_0 = 290$ К — стандартная температура.

Эффективная ЭДС шума, приведенная к входу приёмника, рассчитывается по формуле

$$E_{\text{ш}} = \sqrt{P_{\text{ш вх}} R_A}.$$

где $R_A = R_{\Sigma} + R_{\Pi}$ — эквивалентное сопротивление антенны.

2.4. Задача 2

На рис. 2.1 показана структурная схема линейного тракта приёмника, вход которого подключён к антенно-фидерному тракту с выходным сопротивлением $R_{\text{ф}} = 75 \text{ Ом}$. Значения коэффициентов передачи по мощности K_{pi} , коэффициентов шума N_i и коэффициентов рассогласования γ_i каскадов тракта приведены в таблице 2.2. Дайте определение коэффициентом шума приемника и поясните, в каких пределах он изменяется. Определите входное сопротивление, коэффициент шума и шумовую температуру линейного тракта приёмника,

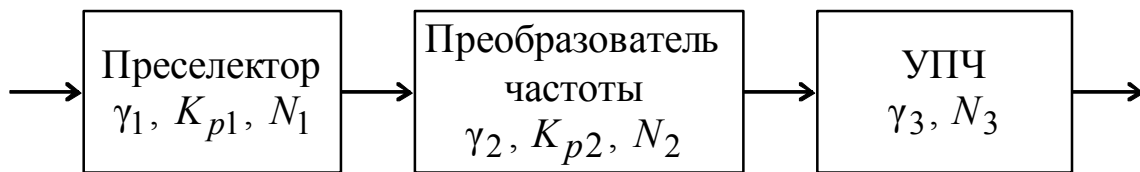


Рис. 2.1 — Структурная схема линейного тракта приёмника

Таблица 2.2 — Исходные данные к задаче 2

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
γ_1	0,8	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,9	1	0,7	0,5
K_{p1}	0,5	20	4	0,4	1,5	10	2,5	15	0,8	5
N_1	1,5	1,8	2	1,6	3	2,5	1,6	2,1	1,9	3
γ_2	1	0,6	0,9	0,5	0,1	0,4	0,3	0,8	0,2	0,7
K_{p2}	4	0,8	12	10	6	9	0,5	5	8	3
N_2	8	6	4	2	5	7	4	9	3	6
γ_3	0,3	0,6	0,2	1	0,5	0,9	0,4	0,6	0,8	0,2
N_3	10	12	18	11	9	25	3	30	2	8

Продолжение таблицы 2.2

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
γ_1	0,3	0,8	0,4	0,2	0,9	0,1	0,5	0,7	0,6	0,1
K_{p1}	8	2	1,5	3	5	18	6	4	12	3
N_1	4	1,8	2	1,5	4	5	3	1,6	1,3	3
γ_2	0,8	0,3	0,5	0,1	0,7	0,2	0,9	1	0,4	0,6
K_{p2}	10	4	6	7	1,2	5	3	0,8	2	8
N_2	12	2	5	2,5	1,6	3	2	2,4	6	4
γ_3	0,7	0,2	0,4	0,8	0,1	0,6	0,9	0,5	0,3	0,1
N_3	15	5	12	2	11	8	10	18	22	7

Продолжение таблицы 2.2

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
γ_1	0,4	0,2	0,3	0,5	0,8	0,1	0,6	0,9	0,7	0,2
K_{p1}	0,5	14	1,7	5	0,2	4	2	10	7	0,9
N_1	1,8	5	2	1,2	1,4	2,2	3	1,3	3,5	1,5
γ_2	0,2	0,4	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,6	0,2	0,8
K_{p2}	10	6,5	1,8	0,3	4	2	8	3	5	0,6
N_2	2	3	1,5	4	2,8	1,6	3	5	1,8	1,5
γ_3	0,2	0,6	0,8	0,3	0,7	0,9	0,1	0,5	0,4	0,2
N_3	4	15	1,5	6	5,5	6	13	10	3	2

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Помехи радиоприему” (см. п. 1.2), для изучения которой рекомендуется следующая литература: [3, стр. 24...27], [4, стр. 29...31], [5, стр. 26...32], [6, стр. 105...108].

Для расчёта входного сопротивления линейного тракта приёмника $R_{вх}$ следует воспользоваться соотношением для коэффициента рассогласования преселектора с фидером

$$\gamma_1 = \frac{4 R_{\phi} R_{вх}}{(R_{\phi} + R_{вх})^2}.$$

Решая данное уравнение относительно $R_{вх}$, находим два возможных его значения и выбираем большее значение.

Коэффициент шума и шумовая температура линейного тракта приёмника определяются по формулам:

$$N = N_1 + \frac{1}{\gamma_1} \left(\gamma_2 \frac{N_2 - 1}{K_{p1}} + \gamma_3 \frac{N_3 - 1}{K_{p1} K_{p2}} \right);$$

$$T_{ш} = T_0 (N - 1),$$

где $T_0 = 293 \text{ К}$ — стандартная температура.

2.5. Задача 3

Приёмник, имеющий шумовую полосу пропускания $\Pi_{\text{ш}}$ и коэффициент шума N , подключен к приемной антенне с помощью фидера, согласованного с антенной и входной цепью приёмника. Фидер имеет коэффициент передачи по напряжению $K_{\text{ф}}$. Приёмная антенна имеет шумовую температуру $T_{\text{А}}$, сопротивление излучения R_{Σ} и сопротивление потерь R_{Π} .

Поясните, что называется реальной, пороговой и эффективной чувствительностью приемника.

Рассчитайте эффективную чувствительность приемника в единицах мощности и напряжения, а также его эффективную шумовую температуру. Определите отношение мощности сигнала к мощности шума на входе приемника, полагая, что аналогичное отношение на выходе приемника равно $q_{\text{вых}}$. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 — Исходные данные к задаче 3

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Pi_{\text{ш}}$, кГц	0,2	50	0,5	3	0,3	1,5	6	300	4	0,5
$T_{\text{А}}$, К	500	800	1000	400	1500	300	1800	1100	600	700
R_{Σ} , Ом	200	100	120	75	60	180	150	270	160	130
R_{Π} , Ом	18	10	14	15	5	4	19	20	12	3
$K_{\text{ф}}$	0,2	0,6	0,1	0,5	0,8	0,7	0,4	0,3	0,9	0,1
N	4	80	5	8	25	12	32	300	10	6
$q_{\text{вых}}$	2	4	5	10	3	6	12	2	10	8

Продолжение таблицы 2.3

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\Pi_{\text{ш}}$, кГц	200	18	0,5	60	5	3	80	180	12	8
$T_{\text{А}}$, К	1400	700	300	1100	450	900	800	250	1300	400
R_{Σ} , Ом	80	60	50	100	75	120	140	120	60	80
R_{Π} , Ом	6	3	7	11	2,5	17	8	5	6	4
$K_{\text{ф}}$	0,5	0,2	0,1	0,3	0,6	0,3	0,4	0,7	0,2	0,9
N	110	7	12	35	4	15	70	160	10	60
$q_{\text{вых}}$	2	5	8	2	12	10	3	2	14	12

Продолжение таблицы 2.3

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\Pi_{\text{ш}}, \text{кГц}$	4	100	10	200	6	70	3	22	400	0,1
$T_{\text{А}}, \text{К}$	1400	700	300	1100	450	900	800	250	1300	400
$R_{\Sigma}, \text{Ом}$	150	60	100	50	75	90	150	50	120	80
$R_{\Pi}, \text{Ом}$	12	20	15	1,2	4	8	7	10	5	3
K_{ϕ}	0,7	0,3	0,9	0,1	0,5	0,6	0,8	0,4	0,4	0,2
N	3	120	9	220	8	90	30	18	250	10
$q_{\text{ВЫХ}}$	10	4	16	3	10	3	12	8	2	8

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Помехи радиоприему” (см. п. 1.2), для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 50...54], [3, стр. 24...27], [5, стр. 32...33], [6, стр. 104...108], [7, стр. 122...124].

Эффективная чувствительность приемника по мощности определяется по формуле

$$P_{\text{А}} = kT_0 \Pi_{\text{ш}} q_{\text{ВЫХ}} \left(\frac{N}{K_{\phi}} + \frac{T_{\text{А}}}{T_0} - 1 \right),$$

а по напряжению — по формуле

$$E_{\text{А}} = \sqrt{P_{\text{А}} R_{\text{А}}},$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град — постоянная Больцмана; $T_0 = 290$ К — стандартная температура; $R_{\text{А}} = R_{\Sigma} + R_{\Pi}$ — эквивалентное сопротивление антенны.

Эффективная шумовая температура приемника рассчитывается по формуле

$$T_{\text{ш}} = (N - 1)T_0.$$

Отношение мощности сигнала к мощности шума на входе приемник определяется по формуле

$$q_{\text{ВХ}} = q_{\text{ВЫХ}} \left[1 + (N - 1) \frac{T_{\text{А}}}{T_0} \right].$$

2.6. Задача 4

Преселектор приёмника состоит из входной цепи и УРЧ, выполненного на биполярных транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером. Изобразите электрическую схему преселектора, поясните его назначение и место включения в приемнике. Рассчитайте на крайних частотах настройки преселектора его частотную избирательность по прямому и зеркальному каналам, полагая, что в приемнике используется верхняя настройка гетеродина, а эквивалентная добротность контуров $Q_3 = 100$. Определите коэффициент устойчивого усиления УРЧ. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 — Исходные данные к задаче 4

Параметр		Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{с min}$, МГц		8	2	30	0,3	35	1,5	0,2	50	20	17
$f_{с max}$, МГц		25	6	80	1	110	4	0,5	150	60	50
$f_{пр}$, МГц		0,6	0,3	6	0,2	10	0,5	0,15	12	35	75
ВЦ	связь с антенной	BE1	Т	BE2	К	Т	BE1	АТ	Т	К	Т
	число контуров	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2
	связь с УРЧ	АТ	Т	АТ	BE2	Т	АТ	BE2	Т	АТ	Т
УРЧ	число каскадов	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	число контуров в каскаде	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	вид транзистора	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>
	Y_{21} , мСм	50	60	40	80	35	90	85	30	45	50
	Y_{12} , мСм	0,4	0,1	0,2	0,06	0,3	0,05	0,03	0,2	0,1	0,04

Продолжение таблицы 2.4

Параметр		Номер варианта									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$f_{с min}$, МГц		3	0,6	10	0,5	6	1,6	1	50	12	35
$f_{с max}$, МГц		10	2	30	1,5	16	5	3	130	30	100
$f_{пр}$, МГц		0,4	0,5	40	0,2	0,5	1	0,3	15	50	12
ВЦ	связь с антенной	АТ	Т	BE2	Т	К	АТ	Т	BE1	АТ	К
	число контуров	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
	связь с УРЧ	BE2	Т	АТ	Т	BE2	АТ	Т	АТ	BE2	АТ
УРЧ	число каскадов	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2
	число контуров в каскаде	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	вид транзистора	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>
	Y_{21} , мСм	70	85	50	95	45	60	80	40	55	45
	Y_{12} , мСм	0,03	0,15	0,2	0,07	0,25	0,04	0,03	0,1	0,09	0,25

Продолжение таблицы 2.4

Параметр		Номер варианта									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$f_{с min}$, МГц		1,5	30	5	6	0,3	12	8	4	3	22
$f_{с max}$, МГц		1,5	100	15	18	0,8	35	25	9	10	65
$f_{пр}$, МГц		0,14	50	0,5	3	0,2	1,5	30	0,4	0,6	11
ВЦ	связь с антенной	BE2	BE1	Т	К	BE1	К	Т	АТ	К	Т
	число контуров	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2
	связь с УРЧ	АТ	Т	BE2	АТ	Т	АТ	Т	BE2	АТ	Т
УРЧ	число каскадов	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2
	число контуров в каскаде	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2
	вид транзистора	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>
	Y_{21} , мСм	80	35	50	25	45	30	40	60	25	20
	Y_{12} , мСм	0,03	0,08	0,04	0,07	0,02	0,06	0,15	0,05	0,02	0,1

Примечание. В таблице 2.4 приняты следующие обозначения и сокращения: $f_{c\ min}$, $f_{c\ max}$ — минимальная и максимальная частоты настройки преселектора; $f_{пр}$ — промежуточная частота; ВЦ — входная цепь; УРЧ — усилитель радиочастоты; BE1 — внешнеёмкостная связь; BE2 — внутриёмкостная связь; АТ — автотрансформаторная связь; Т — трансформаторная связь; К — комбинированная связь; *n-p-n*, *p-n-p* — типы биполярного транзистора; Y_{21} , Y_{12} — прямая и обратная передаточные проводимости транзистора в схеме с общим эмиттером.

Указания к решению задачи

Задача соответствует темам: “Входные цепи” и “Усилители радиочастоты” (см. п.п. 1.3, 1.4) для изучения которых рекомендуется следующая литература: [2, стр. 54...58], [3, стр. 36...38, 45, 68...70], [5, стр. 34...35, 61...63, 72...78], [8, стр. 34...35, 70...75, 99...103], [9, стр. 20...22, 30].

При составлении электрической схемы преселектора необходимо предусмотреть элементы, позволяющие выполнять как настройку, так и подстройку его частоты. Настройку преселектора обычно выполняется с помощью конденсаторов переменной ёмкости или варикапов, а подстройка — с помощью подстроечных конденсаторов и катушек индуктивности с ферромагнитными сердечниками. В схеме УРЧ следует обратить внимание на правильное включение элементов, обеспечивающих режим работы транзисторов по постоянному току.

Для определения частотной избирательности преселектора по побочным каналам приема необходимо рассчитать его обобщенную расстройку по этим каналам.

Обобщенная расстройка преселектора по прямому каналу определяется по формуле

$$\xi_{\text{пр}} = Q_3 \left(\frac{f_{\text{пр}}}{f_c} - \frac{f_c}{f_{\text{пр}}} \right),$$

а по зеркальному каналу (в случае верхней настройки гетеродина) — по формуле

$$\xi_{\text{зк}} = Q_3 \left(\frac{f_c + 2f_{\text{пр}}}{f_c} - \frac{f_c}{f_c + 2f_{\text{пр}}} \right),$$

где f_c — частота принимаемого сигнала, на которую настроен преселектор.

С учетом найденных значений обобщенной расстройки и заданного вида схемы преселектора определяем его частотную избирательность, используя нормированные амплитудно-частотные характеристики, которые приведены в работах [8, стр. 34], [9, стр. 21]. Следует обратить внимание на то, что частотная избирательность обычно рассчитывается в децибелах.

Коэффициент устойчивого усиления УРЧ, выполненного на транзисторах, включенных по схеме с общим эмиттером, определяется по следующим формулам:

— для однокаскадной УРЧ

$$K_{\text{уст}} \approx 0,45 \sqrt{\frac{|Y_{21}|}{|Y_{12}|}};$$

— для двухкаскадного УРЧ

$$K_{\text{уст}} \approx 0,2 \frac{|Y_{21}|}{|Y_{12}|},$$

где Y_{21} , Y_{12} — прямая и обратная передаточные проводимости транзистора, заданные в таблице 2.4.

2.7 Задача 5

Супергетеродинный приемник принимает сигналы в частотном диапазоне от $f_{c\min}$ до $f_{c\max}$ и имеет промежуточную частоту $f_{\text{пр}}$. Гетеродин приемника построен по схеме LC -автогенератора и перестраивается с помощью конденсатора переменной емкости.

Составьте электрическую схему и поясните назначение и принцип действия гетеродина. Укажите причины, вызывающие нестабильность частоты гетеродина.

Рассчитайте максимально возможное отклонение промежуточной частоты от заданного значения и среднеквадратическую нестабильность промежуточной частоты при настройке приемника на крайние частоты диапазона, если нестабильность емкости и индуктивности колебательного LC -контура гетеродина δ_C и δ_L соответственно. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 — Исходные данные к задаче 7

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{c\min}$, МГц	8	2	30	0,3	35	1,5	0,2	50	20	17
$f_{c\max}$, МГц	25	6	80	1	110	4	0,5	150	60	50
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,6	0,3	6	0,2	10	0,5	0,15	12	35	75
Настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
δ_C	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$9 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
δ_L	$9 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$

Продолжение таблицы 2.7

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{c\min}$, МГц	3	0,6	7	0,3	5	1,6	1	40	12	4
$f_{c\max}$, МГц	10	2	20	0,8	16	5	3	120	30	12
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,4	0,5	40	0,2	0,5	1	0,3	15	10	0,5
Настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
δ_C	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$7 \cdot 10^{-4}$
δ_L	$8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$

Продолжение таблицы 2.7

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{c \min}$, МГц	1,5	30	5	6	0,3	12	8	4	8	22
$f_{c \max}$, МГц	1,5	100	15	18	0,8	35	25	9	22	65
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,14	50	0,5	3	0,2	1,5	30	0,4	0,6	11
Настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
δ_C	$9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
δ_L	10^{-3}	$4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$

Примечание. В таблице 2.5 приняты следующие обозначения параметров: В — верхняя настройка гетеродина; Н — нижняя настройка гетеродина.

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Преобразователи частоты”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 310...311], [4, стр. 106...107], [5, стр. 107...108, 132...138], [8, стр. 192], [9, стр. 11].

Частота гетеродина определяются по формуле $f_{\Gamma} = f_c \pm f_{\text{пр}}$, где знак плюс соответствует верхней настройке гетеродина, а знак минус — нижней настройке гетеродина. Подставляя в эту формулу значения частоты сигнала и промежуточной частоты, заданные в таблице 2.5, определяем минимальную и максимальную частоты настройки гетеродина.

Максимально возможное отклонение промежуточной частоты от заданного значения, обусловленные изменением емкости и индуктивности LC -контура гетеродина, равно максимально возможному отклонению частоты гетеродина

$$\Delta_{\text{пр max}} = \Delta_{\Gamma \text{ max}} = \frac{f_{\Gamma}}{2}(\delta_C + \delta_L).$$

В случае верхней настройки гетеродина Среднеквадратическая нестабильность промежуточной частоты определяется по формуле

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{1}{2} \left(\frac{f_c}{f_{\text{пр}}} \pm 1 \right) \sqrt{\delta_C^2 + \delta_L^2},$$

где знак плюс соответствует верхней настройке гетеродина, а знак минус — нижней настройке гетеродина.

Используя выше приведенные формулы необходимо рассчитать требуемые по заданию нестабильности частоты при настройке приемника на минимальную, и максимальную частоты, заданные в таблице 4.7.

2.8. Задача 6

На входе последовательного диодного амплитудного детектора действует амплитудно-модулированный сигнал с несущей частотой $f_{\text{пр}}$. Максимальная частота в спектре модулирующего сигнала равна F_{max} , средняя амплитуда модулированного сигнала — U_m , а коэффициент модуляции — m . Крутизна вольтамперной характеристики диода — S . Сопротивление цепи нагрузки детектора — R_H .

Составьте электрическую схему выходного каскада УПЧ, нагруженного последовательным диодным амплитудным детектором.

Полагая режим детектирования линейным, рассчитайте входное сопротивление детектора, постоянную составляющую и амплитуду переменной составляющей выходного напряжения детектора. Определите ёмкость цепи нагрузки детектора, а также коэффициент частотных искажений на максимальной частоте модулирующих колебаний. Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 — Исходные данные к задаче 6

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_m , В	1,2	1,5	0,8	1,6	1,1	2	1,7	1	0,8	1,4
S , мСм	12	50	30	70	10	20	25	100	15	80
R_H , кОм	80	25	60	20	120	70	45	15	80	10
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,5	1	0,15	1,2	11	5	0,1	2	15	40
F_{max} , кГц	6	0,5	3	5	2	3,5	0,2	4	8	1,5
m	0,3	0,1	0,4	0,2	0,5	0,45	0,35	0,15	0,45	0,25

Продолжение таблицы 2.6

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_m , В	1,2	1,7	1	0,6	1,3	0,9	1,5	1,8	1,4	2
S , мСм	35	40	20	50	18	30	15	100	25	20
R_H , кОм	40	25	70	20	85	45	90	12	70	55
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,7	3	1	20	15	2,5	1,5	10	12	0,4
F_{max} , кГц	2,5	8	3	0,18	5	4,5	0,3	0,6	4	3,5
m	0,5	0,45	0,3	0,15	0,25	0,05	0,35	0,1	0,4	0,2

Продолжение таблицы 2.6

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U_m , В	1,5	1,8	0,7	1,6	0,9	1,1	1,2	1,4	1,3	1
S , мСм	120	30	70	10	80	15	25	110	20	65
R_H , кОм	10	50	20	140	20	85	60	12	80	25
$f_{пр}$, МГц	35	0,3	1,2	8	20	1	14	2,5	6	65
F_{max} , кГц	8	3,5	0,6	4	2,5	0,2	5	3	1,5	6
m	0,15	0,5	0,2	0,3	0,25	0,45	0,25	0,1	0,4	0,35

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Амплитудные детекторы” (см. п. 1.7), для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 180...184], [3, стр. 186...189], [5, стр. 179...180, 192...195], [6, стр. 76...78], [8, стр. 205...206, 222...229], [9, стр. 368...370].

Находим угол отсечки тока диода

$$\theta \approx 3 \sqrt{\frac{3\pi}{SR}}.$$

Определяем коэффициент передачи детектора $K_d = \cos \theta$ и находим амплитуду переменной составляющей выходного напряжения детектора

$$U_{m\Omega} \approx K_d m U_m,$$

Входное сопротивление детектора определяется по формуле $R_{вх} \approx R_H/2$.

Определяем постоянную составляющую выходного напряжения детектора

$$U_0 = \frac{SR_H U_m (\sin \theta - \theta \cos \theta)}{\pi}.$$

В соответствии с условие (1.12) рассчитываем емкость цепи нагрузки детектора

$$C_H \approx \frac{1}{2\pi R_H \sqrt{f_{пр} F_{max}}}.$$

Коэффициент частотных искажений на максимальной частоте модулирующих колебаний определяется по формуле

$$M_H = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi F_{max} C_H R_{ид} R_H}{S \theta (R_{ид} + R_H)} \right)^2}.$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищук А.Г. Радиоприемные устройства / А.Г. Онищук, И.И. Забеньков, А.М. Амелин. — Минск: Новое знание, 2007 — 240 с.
2. Воллернер Н.П. Радіоприймальні пристрої / Н.П. Воллернер — К.: Вища. шк., 1993. — 391 с.
3. Буга Н.Н. Радиоприёмные устройства / Н.Н. Буга, А.И. Фалько, Н.И. Чистяков. — М.: Радио и связь, 1986. — 320 с.
4. Радиоприёмные устройства / Ю.Т. Давыдов, Ю.С. Данич, А.П. Жуковский и др. / Под ред. А.П. Жуковского. — М.: Высш. шк., 1989. — 342 с.
5. Радиоприемные устройства / А. Г. Зюко, Ю. Ф. Коробов, Г.И. Левитан и др.; Под ред. А.Г. Зюко. — М.: Связь, 1975. — 400 с.
6. Сборник задач и упражнений по курсу “Радиоприемные устройства”: Учебное пособие для вузов / Ю.Н. Антонов-Антипов, В.П. Васильев, И.В. Комаров и др.; Под ред. В. И. Сифорова. — М.: Радио и связь, 1984. — 224 с.
7. Бова Н.Т. Антенны и устройства СВЧ / Н.Т. Бова, Г.Б. Резников. — К.: Выща шк., 1977. — 224 с.
8. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств / М.К. Белкин, В.Т. Белинский, Ю.Л. Мазор, Р.М. Терещук. — К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. — 472 с.
9. Проектирование радиоприемных устройств / С. М. Клич, А. С. Кривенко, Г. Н. Носикова; под ред. А. П. Сиверса. — М.: Сов. радио, 1976.— 486 с.
10. Методические указания по оформлению текстовых работ для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.050907 — “Радиотехника” / СевНТУ; сост. В.Г. Слезкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. — 20 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АД — амплитудный детектор
АМ — амплитудная модуляция
АПЧ — автоматическая подстройка частоты
АРУ — автоматическая регулировка усиления
АЦП — аналого-цифровой преобразователь
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика
БУ — блок управления
ВАХ — вольтамперная характеристика
ВЦ — входная цепь
Г — гетеродин
Д — детектор
ЗК — зеркальный канал
И — индикатор
ИС — интегральная схема
ИУ — исполнительное устройство
КК — комбинационный канал
КПД — коэффициент полезного действия
КСС — комплексный стереосигнал
ОК — основной канал
ПрК — прямой канал
ПЧ — преобразователь частоты
СВЧ — сверхвысокочастотный
СК — соседний канал
См — смеситель
СЧ — синтезатор частоты
УКВ — ультракороткие волны
УНЧ — усилителем низкой частоты
УПЧ — усилитель промежуточной частоты
УРЧ — усилитель радиочастоты
ФАПЧ — фазовая автоматическая подстройка частоты
ФД — фазовый детектор
ФСИ — фильтр сосредоточенной избирательности
ФЧХ — фазочастотная характеристика
ЦАП — цифроаналоговый преобразователь
ЦСП — цифровой сигнальный процессор
ЧАПЧ — частотная автоматическая подстройка частоты
ЧД — частотный детектор
ЭДС — электродвижущая сила

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Образец титульного листа

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № ____
по дисциплине “Прием и обработка сигналов”
Вариант № ____

Выполнил студент _____
(ФИО)

Группа _____

Номер зачётной книжки _____

Отметка о защите _____

Преподаватель _____
(ФИО)

Севастополь
20__

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