

К. Е. РУМЯНЦЕВ

ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

Сборник задач и упражнений

Рекомендовано

*Учебно-методическим объединением по образованию
в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники
и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
«Бытовая радиоэлектронная аппаратура» направления подготовки
дипломированных специалистов «Радиотехника»*

УДК 621.37(075.8)
ББК 32.84я73
P865

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектронных систем
Южно-Российского государственного университета
экономики и сервиса *П. В. Сучков*;
кандидат технических наук, начальник НТЦ-100 Таганрогского
научно-исследовательского института связи *В. С. Кабаченко*

Румянцев К.Е.

P865 Прием и обработка сигналов: сборник задач и упражнений : учеб. пособие для вузов / К. Е. Румянцев. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 368 с.
ISBN 5-7695-1784-0

Рассмотрена методика расчета измерений нормируемых параметров бытовых радиоприемных устройств. Дан сравнительный анализ системно-и схмотехнических решений бытовой радиоприемной аппаратуры отечественного и зарубежного производства. Приведены примеры решений заданий-ситуаций и задач для закрепления полученных студентами знаний и навыков.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 621.37(075.8)
ББК 32.84я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 5-7695-1784-0 © Румянцев К.Е., 2006
© Издательский центр «Академия», 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Принятые сокращения	5
Основные обозначения	7
Глава 1. Общие сведения о приеме и обработке информации в бытовой радиоприемной аппаратуре	9
1.1. Терминология и обозначения для описания сигналов	9
1.2. Непрерывные радиосигналы	10
1.3. Аппаратура для имитации радиосигналов	12
Глава 2. Структура бытовой радиоприемной аппаратуры	14
2.1. Электрические схемы радиоприемных устройств	14
2.2. Задания-ситуации	16
Глава 3. Параметры и характеристики радиоприемников	18
3.1. Примеры расчета параметров радиоприемных устройств	18
3.2. Задания-ситуации	20
3.3. Задачи для самоконтроля	22
Глава 4. Антенны бытовых радиоприемных устройств	25
4.1. Практические рекомендации по выбору приемных антенн	25
4.2. Условные графические обозначения приемных антенн бытового назначения	29
4.3. Задания-ситуации	29
4.4. Задачи для самоконтроля	31
Глава 5. Входные цепи	32
5.1. Основные определения и параметры колебательных систем	33
5.2. Примеры расчета входных цепей	37
5.3. Задания-ситуации	56
5.4. Задачи для самоконтроля	58
5.5. Упражнения по схемотехнике входных цепей	62
5.6. Настройка и регулировка входных цепей	64
Глава 6. Усилители радиочастоты	66
6.1. Примеры расчета усилителей радиочастоты	67
6.2. Задания-ситуации	93
6.3. Задачи для самоконтроля	95

6.4. Упражнения по схемотехнике усилителей радиочастоты	97
6.5. Настройка и регулировка усилителей радиочастоты	103
Глава 7. Преобразователи частоты	107
7.1. Примеры расчета преобразователей частоты	107
7.2. Задания-ситуации	131
7.3. Задачи для самоконтроля	132
7.4. Упражнения по схемотехнике преобразователей частоты	134
7.5. Настройка и регулировка преобразователей частоты	140
Глава 8. Гетеродины и синтезаторы частоты	142
8.1. Примеры расчета гетеродинов	142
8.2. Задания-ситуации	150
8.3. Задачи для самоконтроля	151
8.4. Упражнения по схемотехнике гетеродинов	152
8.5. Настройка и регулировка гетеродинов	157
Глава 9. Усилители промежуточной частоты	161
9.1. Примеры расчета усилителей промежуточной частоты	161
9.2. Задания-ситуации	171
9.3. Задачи для самоконтроля	173
9.4. Упражнения по схемотехнике усилителей промежуточной частоты	175
9.5. Настройка и регулировка усилителей промежуточной частоты	178
Глава 10. Детекторы амплитудно-модулированных сигналов	180
10.1. Примеры расчета амплитудных детекторов	180
10.2. Задания-ситуации	197
10.3. Задачи для самоконтроля	198
10.4. Упражнения по схемотехнике амплитудных детекторов	201
10.5. Настройка и регулировка амплитудных детекторов	203
Глава 11. Детекторы частотно-модулированных сигналов	205
11.1. Примеры расчета частотных детекторов	206
11.2. Задания-ситуации	227
11.3. Задачи для самоконтроля	228
11.4. Упражнения по схемотехнике частотных детекторов	229
11.5. Настройка и регулировка частотных детекторов	234
Глава 12. Методы измерений характеристик и параметров радиоприемников сигналов с амплитудной модуляцией	236
12.1. Аппаратура для измерений параметров радиоприемников сигналов с амплитудной модуляцией	236
12.2. Общие условия измерений	237
12.3. Снятие зависимостей уровней сигнала и шума на выходе радиоприемника от уровня входного высокочастотного сигнала	244
12.4. Измерение чувствительности радиоприемника, ограниченной шумом	248

12.5. Измерение чувствительности, ограниченной усилением	250
12.6. Измерение коэффициента шума	251
12.7. Измерение отношения сигнал-шум	252
12.8. Измерение избирательности РПрУ по побочным каналам приема	252
12.9. Снятие частотной характеристики РПрУ по электрическому напряжению	256
12.10. Измерение кривой затухания и полосы пропускания	257
12.11. Измерение общих гармонических искажений РПрУ по электрическому напряжению	258
12.12. Измерение пределов изменения уровня входного сигнала	259
12.13. Измерение максимальной выходной мощности РПрУ	259
Глава 13. Методы измерений характеристик и параметров РПрУ сигналов с частотной модуляцией в монофоническом режиме	261
13.1. Условия измерений параметров РПрУ сигналов с частотной модуляцией	261
13.2. Снятие зависимостей общих гармонических искажений РПрУ от уровня выходного сигнала и частоты модуляции	262
13.3. Снятие зависимости общих гармонических искажений РПрУ от входной мощности сигнала	264
13.4. Снятие зависимости общих гармонических искажений РПрУ от девиации частоты входного сигнала	265
13.5. Измерение общих гармонических искажений из-за неточности настройки РПрУ	266
13.6. Измерение общих гармонических искажений в каскадах радиочастоты и промежуточной частоты РПрУ	267
13.7. Снятие зависимости общих гармонических искажений от напряжения источника питания РПрУ	268
13.8. Снятие зависимости общих гармонических искажений РПрУ от температуры окружающей среды	268
13.9. Измерение максимальной выходной мощности РПрУ	268
13.10. Измерение частотной характеристики по электрическому напряжению РПрУ	269
13.11. Измерение избирательности РПрУ по соседним каналам приема	269
13.12. Измерение коэффициента подавления амплитудной модуляции	276
13.13. Измерение критичности настройки РПрУ	278
13.14. Измерение избирательности РПрУ по каналам приема	278
13.15. Измерение ослабления боковых настроек РПрУ	281
13.16. Измерение отношения сигнал-шум на низкочастотном выходе радиоприемника	281
13.17. Измерение чувствительности РПрУ, ограниченной шумом, по напряжению с входа для внешней антенны	284
13.18. Измерение чувствительности РПрУ, ограниченной шумом, по напряженности поля для внутренней (штыревой) антенны	286

13.19. Измерение чувствительности РПрУ, ограниченной усилением	286
13.20. Снятие зависимостей уровней сигнала и шума на выходе РПрУ от уровня входного высокочастотного сигнала	287
13.21. Измерение уровня возникновения ограничения сигнала	289
13.22. Измерение пределов изменения уровня входного сигнала	289
Ответы на задания-ситуации, задачи для самоконтроля и схемотехнические расчеты	291
Приложения	
1. Принципиальная электрическая схема радиоприемника «Selga-405»	352
2. Принципиальная электрическая схема радиоприемника «Вега-404»	354
3. Принципиальная электрическая схема радиоприемника А-324	356
4. Принципиальная электрическая схема радиоприемника А-370 (А-370М, А-370М1)	358
5. Принципиальная электрическая схема радиоприемника «Алмаз»	360
6. Принципиальная электрическая схема радиоприемника «Юпитер-601» («Юпитер-601М»)	362
Список литературы	364

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основной целью сборника задач и упражнений является закрепление в процессе выполнения индивидуальных заданий полученных теоретических знаний. Главное внимание уделяется особенностям построения и расчета функциональных узлов радиоприемных устройств (РПрУ) на биполярных и полевых транзисторах, диодах и интегральных микросхемах. Сборник совместно с учебным пособием К. Е. Румянцева «Прием и обработка сигналов» (М.: Издательский центр «Академия», 2004) составляет учебно-методический комплект.

В отличие от существующих сборников задач и упражнений подбор материалов в настоящем издании ориентирован на бытовую радиоэлектронную аппаратуру (БРЭА), в том числе рассмотрен расчет электрических цепей, функциональных узлов и блоков для приема и преобразования сигналов радиовещания и звукового сопровождения телевизионного вещания.

В главах 1—3 приведен материал, предназначенный для закрепления сложившейся терминологии, классификации и состава РПрУ. В них дается представление об отечественных стандартах и правилах, которые регламентируют деятельность в области радиовещания. Анализируются физические принципы, используемые в трактах и функциональных узлах для приема и обработки аналоговых и цифровых сигналов различных видов в диапазонах длинных (ДВ), средних (СВ), коротких (КВ) и ультракоротких волн (УКВ). Излагаются правила изображения схем радиоприемников и их отдельных узлов. Рассчитываются основные электрические параметры радиовещательных и телевизионных приемников.

Главы 4—11 посвящены рассмотрению принципов работы и схемотехнических решений функциональных узлов РПрУ — входных цепей, усилителей радиочастоты, преобразователей частоты, гетеродинов и синтезаторов частоты, усилителей промежуточной частоты, детекторов сигналов с амплитудной и частотной модуляцией. Каждая из этих глав снабжена примерами типовых расчетов функциональных узлов РПрУ. Приведены задания-ситуации, задачи для самоконтроля и варианты творческих заданий. Анализируются схемные решения для закрепления знаний, умений и

навыков у студентов. Ответы на задания-ситуации, решения задач и пояснения к схемам приведены в конце учебного пособия.

В главах 12 и 13 изложены стандартные методики измерения характеристик и параметров радиоприемников различного назначения с использованием высокочастотных колебаний, подаваемых на антенные входы или наводимых в магнитной антенне. Даются общие условия измерения параметров радиоприемников, определенные ГОСТ 9783—88.

В приложения вынесены принципиальные схемы радиоприемников, анализ которых позволит студентам разобраться в схемных решениях радиоэлектронной аппаратуры.

В результате изучения материала студент должен усвоить методы схемотехнического проектирования РПрУ, научиться рассчитывать основные параметры их функциональных узлов по заданной принципиальной схеме.

При использовании учебного пособием следует учитывать различия в обозначениях элементов на схемах и их величин. Например, резистор $R1$ с сопротивлением $R_1 = 1$ кОм; конденсатор $C1$ с емкостью $C_1 = 1$ мкФ; катушка $L1$ с индуктивностью $L_1 = 1$ мкГн. В задачах, где требуется определить величину элементов, их значения проставлены в соответствии с системой СИ.

Основой пособия послужили материалы лекций и практических занятий, которые читались автором для студентов радиотехнических специальностей «Радиотехника» и «Бытовая радиоэлектронная аппаратура», а также сервисной специальности «Сервис бытовой радиоэлектронной аппаратуры».

Автор благодарен коллективу кафедры радиоэлектронных средств защиты и сервиса Таганрогского государственного радиотехнического университета и преподавателям Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса В. А. Зиброву, Н. Н. Прокопенко, П. В. Сучкову, а также начальнику научно-технического центра Таганрогского НИИ связи В. С. Кабаченко за помощь в подготовке издания, высказанные ими замечания, которые были учтены при написании сборника.

Автор выражает большую признательность профессору кафедры радиоэлектронных средств Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета д-ру техн. наук В. А. Богдановичу за ценные замечания и предложения, сделанные им при подготовке рукописей учебного пособия и сборника задач и упражнений к изданию.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АД	— амплитудный детектор
АМ	— амплитудная модуляция
АО	— амплитудный ограничитель
АПЧ	— автоматическая подстройка частоты
АРУ	— автоматическая регулировка усиления
АЧХ	— амплитудно-частотная характеристика
АЭ	— активный элемент
БРЭА	— бытовая радиоэлектронная аппаратура
БТ	— биполярный транзистор
БШН	— бесшумная настройка
ВАХ	— вольт-амперная характеристика
ВЦ	— входная цепь
Г	— гетеродин, генератор
ГТИ	— генератор тактовых импульсов
ГУН	— генератор, управляемый напряжением
ГСВ	— генератор сигналов измерительных высокочастотных
ГСН	— генератор сигналов низкочастотных
ГСТ	— генератор стабильного тока
ДД	— динамический диапазон
ИМС	— интегральная микросхема
ДВ	— длинная волна
КВ	— короткая волна
КСВ	— коэффициент стоячей волны
МПЛ	— макрополосковая линия
МШУ	— малошумящий усилитель
НО	— направленный ответвитель
НТД	— нормативно-техническая документация
ОБ	— общая база
ОИ	— общий исток
ОК	— общий коллектор
ОСШ	— отношение сигнал-шум
ОУ	— операционный усилитель
ОЭ	— общий эмиттер
ПАВ	— поверхностная акустическая волна
ПКФ	— пьезокерамический фильтр
ПТ	— полевой транзистор
ПФ	— полосовой фильтр
ПЧ	— преобразователь частоты

РПрУ	— радиоприемное устройство
СВ	— средняя волна
СВЧ	— сверхвысокая частота
СЦ	— согласующая цепь
УЗЧ	— усилитель звуковой частоты
УКВ	— ультракороткая волна
УПТ	— усилитель постоянного тока
УПЧ	— усилитель промежуточной частоты
УРЧ	— усилитель радиочастоты
ФАПЧ	— фазовая автоматическая подстройка частоты
ФВ	— фазовращатель
ФВЧ	— фильтр верхних частот
ФД	— фазовый детектор
ФМ	— фазовая модуляция
ФНЧ	— фильтр нижних частот
ФСС	— фильтр сосредоточенной селекции
ЦАП	— цифроаналоговый преобразователь
ЧД	— частотный детектор
ЧМ	— частотная модуляция
Ш	— шум (коэффициент шума)
Э	— энергия
ЭДС	— электродвижущая сила
ЭМФ	— электромеханический фильтр

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

B	— реактивная составляющая проводимости
C	— емкость
c	— скорость света
D	— диаметр
d	— затухание контура
E	— напряженность электрического поля, напряжение источника питания или смещения на активном элементе
f	— частота радиосигнала
F	— частота модуляции, частота звукового сигнала
G, g	— активная составляющая проводимости
h	— высота, h -параметры
I	— любой зависящий от времени ток, включая постоянный
\hat{I}	— амплитуда переменного тока синусоидальной формы
\dot{I}	— комплексная амплитуда переменного тока синусоидальной формы
i	— мгновенное значение тока без постоянной составляющей
K	— коэффициент передачи (усиления)
k	— коэффициент пропорциональности
L	— индуктивность, потери
l	— длина
M	— коэффициент частотных искажений, взаимная индуктивность
m	— коэффициент связи (включения, трансформации), модуляции
n	— коэффициент связи (включения, трансформации)
P	— мощность
Q	— добротность контура
R, r	— активное сопротивление
S	— переключатель, тумблер, крутизна, площадь
T	— температура, период
t	— время
u	— мгновенное значение напряжения без постоянной составляющей
U	— любое зависящее от времени напряжение, включая постоянное
\hat{U}	— амплитуда переменного напряжения синусоидальной формы
\dot{U}	— комплексная амплитуда напряжения синусоидальной формы
w	— число витков
X	— реактивное сопротивление
Y	— комплексная проводимость

Z	— комплексное сопротивление
λ	— длина волны
Δf	— абсолютная расстройка частоты источника гармонического сигнала относительно резонансной частоты контура
ε	— электродвижущая сила
θ	— угол отсечки
ν	— относительная расстройка
ξ	— обобщенная расстройка частоты источника гармонического сигнала относительно резонансной частоты контура
Π	— полоса пропускания
ρ	— волновое или характеристическое сопротивление
σ	— избирательность
τ	— постоянная времени
Φ, φ	— фаза
ψ	— индекс модуляции
ω	— круговая частота радиосигнала
Ω	— круговая частота звукового сигнала

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИЕМЕ И ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ В БЫТОВОЙ РАДИОПРИЕМНОЙ АППАРАТУРЕ

Материал этой главы направлен на закрепление знаний о сложившейся терминологии в области радиовещания и бытовой радиоприемной аппаратуры. Он дает также представление о российских и международных нормах и правилах, которые регламентируют деятельность в области радиовещания.

1.1. Терминология и обозначения для описания сигналов

Обозначения важнейших величин, описывающих процессы в бытовой радиоприемной аппаратуре, даны в начале пособия в подразд. «Основные обозначения». Кроме этих обозначений в схемах бытовой радиоэлектронной аппаратуры применяются следующие символы:

- — постоянный ток;
- ~ — переменный сигнал (напряжение, ток). Общее обозначение;
- ⌋ — сигнал, состоящий из несущей частоты с двумя боковыми полосами частот;
- ≈ — сигнал звуковой частоты;
- ≈ — радиосигнал;
- ≈ — колебания сверхвысокой частоты.

Виды модуляции обозначают, как показано на рис. 1.1: A (см. рис. 1.1, *а*) — амплитудная, f или F (см. рис. 1.1, *б*) — частотная и φ (см. рис. 1.1, *в*) — фазовая модуляции. Обозначение располагают справа от символа несущей частоты — стрелки, перпендикуляр-

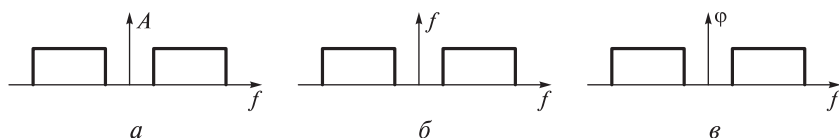


Рис. 1.1

ной оси частот. Боковые полосы частот показывают в виде прямоугольников на оси частот.

1.2. Непрерывные радиосигналы

Пример 1. Несущее колебание частотой $f_c = 200$ кГц и амплитудой $\hat{U}_c = 8$ В модулируется по амплитуде колебанием частотой $F_M = 10$ кГц и амплитудой $\hat{U}_m = 5$ В. Начальная фаза несущего колебания $\Phi_c = \pi/2$.

Найдем значение коэффициента АМ m_{AM} . Запишем математическую модель такого сигнала. Определим пиковые значения каждой частотной составляющей и изобразим спектральные диаграммы сформированного радиосигнала.

Решение. Коэффициент АМ определяется по формуле $m_{AM} = \hat{U}_m / \hat{U}_c = 5/8 = 0,625$. Радиосигнал с АМ описывается выражением $u_c(t) = \hat{U}_c [1 + m_{AM} \cos(2\pi F_M t)] \cos(\omega_c t + \Phi_c)$. После подстановки численных значений находим

$$u_c(t) = 8[1 + 0,625 \cos(6,28 \cdot 10^4 t)] \sin(1,25 \cdot 10^6 t).$$

Составляющие спектральной диаграммы сигнала показаны на рис. 1.2.

Резюме. Обратите внимание на условные графические обозначения частот, приведенные в ГОСТ 2. 762—85. Под острием стрелки на оси частот могут быть указаны буквенные обозначения и единицы измерения.

Пример 2. Напишем уравнение для мгновенного значения напряжения сигнала с ЧМ, если его амплитуда $\hat{U}_c = 3$ В, длина волны несущего колебания $\lambda_{c0} = 40$ м, частота модуляции $F_M = 15$ кГц и девиация частоты $f_{cm} = 75$ кГц.

Решение. Индекс модуляции $\psi_{cm} = f_{cm} / F_M = 75/15 = 5$ определяет максимальное отклонение фазы, равное 172° . Частота несущей

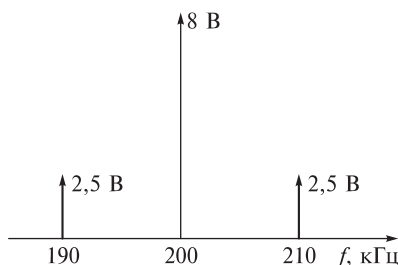


Рис. 1.2

шего колебания $f_{c0} = c/\lambda_{c0} = 3 \cdot 10^8/40 = 7,5 \cdot 10^6 = 7,5$ МГц, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света.

Уравнение для мгновенного значения напряжения сигнала с ЧМ принимает вид

$$u_c(t) = \hat{U}_c \cos[2\pi f_{c0}t + \psi_{cm} \sin(2\pi F_M t)] = \\ = 3 \cos[47,1 \cdot 10^6 t + 3 \sin(92,4 \cdot 10^3 t)].$$

Резюме. Обратите внимание, что за один период колебания модуляции фаза высокочастотного радиосигнала совершает $f_{c0}/F_M = 7,5 \cdot 10^6/15 \cdot 10^3 = 500$ полных колебаний. Видно, что фаза $\Phi_c(t) = \psi_{cm} \sin(2\pi F_M t)$ входного процесса медленно изменяется во времени по сравнению с изменением высокочастотного заполнения. Радиосигнал, обладающий указанным свойством, называется *квазигармоническим*.

Пример 3. На входе высокочастотного тракта приемной аппаратуры действует радиосигнал $u_c(t) = \hat{U}_c \cos(2\pi f_c t + \Phi_c)$ с параметрами $\hat{U}_c = 50$ мкВ, $f_c = 4$ МГц и $\Phi_c = \pi/3$.

Определим комплексную амплитуду \dot{U} радиосигнала.

Рассчитаем оператор вращения в момент времени $t = 5$ мкс.

Решение. Комплексная амплитуда радиосигнала $\dot{U}_c = \hat{U}_c \exp(j\Phi_c)$ определяется выражением $\dot{U}_c = 50 \cdot 10^{-6} \exp(j\pi/3)$. Оператор вращения $\exp(j\omega_c t)$ в момент времени $t = 5$ мкс равен $\exp(j\pi \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-6}) = \exp(j40\pi) = 1$.

Резюме. Напомним, что метод комплексных амплитуд применяется для анализа линейных цепей, находящихся под гармоническим воздействием в установившемся режиме.

Пример 4. Колебания высокочастотной несущей промодулированы по частоте сигналом с верхней частотой $F_B = 12$ кГц.

Рассчитаем ширину спектра сигнала для трех значений индекса модуляции, равных $\psi_{cm} 0,1; 1$ и 10 . При расчетах допускается пренебречь составляющими, меньшими $0,01$ уровня немодулированной несущей.

Решение. Спектр радиосигнала с гармоническим ЧМ-колебанием с частотой $F_M = F_B$ является дискретным и состоит из несущего колебания с частотами f_{c0} и симметрично расположенных боковых колебаний частотой $f_{c0} \pm nF_M$ и амплитудой $\hat{U}_c J_n(\psi_{cm})$, выраженными через функции Бесселя целого n -го порядка. Практически ширина спектра Π_c сигнала с ЧМ ограничена, так как амплитуды боковых колебаний, начиная с определенного номера n , достаточно быстро убывают. Формула $\Pi_c = 2F_B (1 + \psi_{cm} + \sqrt{\psi_{cm}})$ учитывает только те составляющие сигнала, амплитуды которых

превышают уровень, равный 1 % амплитуды немодулированной несущей \hat{U}_c . Расчет по формуле дает следующие результаты: $P_c = 34$ кГц при $\psi_{cm} = 0,1$; $P_c = 72$ кГц при $\psi_{cm} = 1$; $P_c = 340$ кГц при $\psi_{cm} = 10$.

Резюме. Отметим, что для расчета ширины спектра ЧМ-сигнала возможно применение приближенных формул. Так, при узкополосной модуляции ($\psi_{cm} < 1$) ширина спектра $P_c = 2F_B$, а при широкополосной модуляции ($\psi_{cm} > 1$) $P_c \approx 2F_B(1 + \psi_{cm})$. В решении примера 4 расчет по приближенным формулам дает $P_c = 24$ кГц при $\psi_{cm} = 0,1$ и $P_c = 264$ кГц при $\psi_{cm} = 10$. Из этого следует, что погрешность вычислений P_c по приближенным формулам довольно велика и составляет около 29 % при $\psi_{cm} = 0,1$ и более 22 % при $\psi_{cm} = 10$.

Пример 5. Что ограничивает применение ЧМ в диапазонах кило- и гектометровых радиоволн? Сколько радиовещательных станций с ЧМ можно разместить в диапазонах СВ и УКВ, если на один радиоканал отводится полоса в 250 кГц?

Решение. Километровые радиоволны занимают полосу частот 30...300 кГц, а гектометровые 300...3000 кГц. Следовательно, на этих волнах невозможно вести вещание в широкой полосе частот. Кроме того, следует принимать во внимание особенности распространения электромагнитных волн этих диапазонов.

Согласно ГОСТ 5651—89 радиовещание на СВ ведется на частотах 526,5...1606,5 кГц, т.е. ширина диапазона составляет 1080 кГц. При отведении на радиоканал полосы 250 кГц в диапазоне СВ удастся разместить только 4 радиовещательные станции.

Радиовещание на УКВ производится на частотах 65,8...74,0 МГц (диапазон УКВ1) и 100...108 МГц (диапазон УКВ2). Следовательно, в диапазонах УКВ1 и УКВ2 удастся разместить соответственно 33 и 32 станции.

1. 3. Аппаратура для имитации радиосигналов

Согласно ГОСТ 9783—88 «Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы электрических высокочастотных измерений» установлены основные требования к измерительной аппаратуре для имитации радиосигналов, для чего рекомендовано использовать следующие типы генераторов:

генератор сигналов низкочастотный с непрерывной генерацией синусоидального напряжения;

генератор сигналов высокочастотный с непрерывной генерацией синусоидального напряжения, внутренней и внешней амплитудной и частотной модуляциями синусоидальным напряжением, а также регулируемым затуханием выходного напряжения для формирования стандартных входных уровней сигнала радио-

приемника. При измерении общих гармонических искажений радиоприемника коэффициент гармоник огибающей модулированного напряжения генератора не должен быть более $\frac{1}{3}$ или $\frac{1}{4}$ измеряемого значения соответственно. При измерении чувствительности радиоприемников способом SINAD и отношении сигнал-шум 50 дБ значение коэффициента гармоник огибающей модулированного напряжения генератора не должно быть более 0,1 %;

генератор шумовых сигналов с непрерывной генерацией процесса вида «белый шум» и отклонением частотной характеристики спектральной плотности мощности ± 1 дБ. Мгновенные значения напряжения на выходе генератора должны быть распределены по нормальному закону не менее чем до трехкратного значения среднего квадратического напряжения.

Диапазон частот измерительной аппаратуры должен превышать диапазон частот, в котором проводят измерения характеристик и параметров радиоприемников.

Глава 2

СТРУКТУРА БЫТОВОЙ РАДИОПРИЕМНОЙ АППАРАТУРЫ

В этой главе приведен материал для закрепления знаний о классификации и составе РПрУ, изложены правила построения структурных и функциональных схем радиоприемников и их отдельных узлов.

2.1. Электрические схемы радиоприемных устройств

Электрические схемы РПрУ в зависимости от назначения подразделяют на структурные, функциональные и принципиальные.

Структурная схема отображает принцип работы РПрУ в самом общем виде. На схеме, как правило, показывают функциональные узлы устройства, а также основные взаимосвязи между ними. Построение схемы должно давать наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных узлов в РПрУ устройстве. Действительное расположение узлов не учитывается, и способ их связи между собой не раскрывается. Функциональные узлы на схеме показываются в виде прямоугольников или условных графических обозначений. Направление хода процессов, происходящих в РПрУ, обозначается стрелками на линиях связи узлов. При обозначении функциональных узлов в виде прямоугольников их наименования, типы и обозначения вписываются внутри прямоугольников.

Функциональная схема РПрУ служит для разъяснения процессов, протекающих в отдельных функциональных узлах и в РПрУ. Элементы функциональной схемы и связи между ними изображаются в виде условных графических обозначений, установленных в стандартах ЕСКД (табл. 2.1).

Принципиальная схема определяет полный состав элементов РПрУ и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы РПрУ. Электрические элементы на этой схеме изображают условными графическими обозначениями, начертание и размеры которых установлены в стандартах ЕСКД. Всем приведенным на схеме элементам и устройствам присваиваются условные буквенно-цифровые обозначения в соответствии с ГОСТ 2.710—81.

Некоторые условные графические обозначения элементов функциональных электрических схем радиоприемных устройств

Элемент схемы	Графическое обозначение	Буквенное обозначение
Усилитель		<i>A</i>
Усилитель радиочастоты		<i>A</i>
Усилитель постоянного тока		<i>A</i>
Амплитудный ограничитель		<i>A</i>
Генератор синусоидальных колебаний частотой 1 МГц		<i>G</i>
Генератор звуковых сигналов		<i>G</i>
Генератор синусоидальных колебаний радиочастоты (гетеродин)		<i>G</i>
Генератор синусоидальных колебаний с регулируемой частотой		<i>G</i>
Генератор с кварцевой стабилизацией		<i>G</i>
Преобразователь электрических величин в электрические. Буквы <i>X</i> и <i>Y</i> обозначают соответственно входной и выходной параметры		<i>U</i>
Преобразователь частоты		<i>UZ</i>
Амплитудный детектор. Демодулятор		<i>UR</i>
Частотный детектор		<i>UR</i>
Фильтр полосовой		<i>Z</i>
Фильтр режекторный		<i>Z</i>
Фильтр нижних частот		<i>Z</i>
Фильтр верхних частот		<i>Z</i>
Антенна		<i>WA</i>

2.2. Задания-ситуации

1. К какому типу относится РПрУ, структурная схема которого показана на рис. 2.1? Объясните назначение каждого элемента РПрУ? Чему равна частота настройки элементов РПрУ, обозначенных УПЧ1, УПЧ2, УПЧ3, УЗЧ1 и УЗЧ2?

2. Для схемы радиоприемного устройства на рис. 2.1 постройте временные осциллограммы и спектральные диаграммы на выходах всех функциональных узлов. Избирательность по какому каналу должны обеспечивать элементы ВЦ, ПФ, УПЧ1, УПЧ2, УПЧ3, УЗЧ1 и УЗЧ2 радиоприемника?

3. К какому типу относится РПрУ, функциональная схема которого приведена на рис. 2.2? Объясните назначение каждого элемента РПрУ? Какие элементы РПрУ настраиваются на частоту радиосигнала?

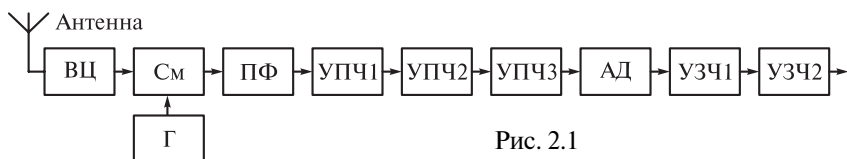


Рис. 2.1



Рис. 2.2

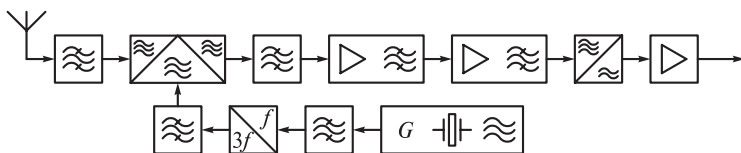


Рис. 2.3

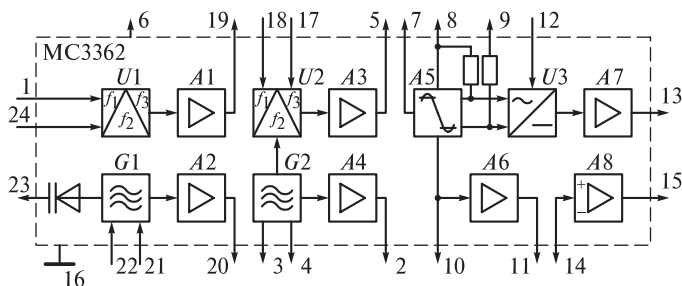


Рис. 2.4

4. К какому типу относится РПрУ, функциональная схема которого приведена на рис. 2.3? Объясните назначение каждого элемента РПрУ? Какие элементы РПрУ настраиваются на частоту радиосигнала?

5. На основе микросхемы типа МС3362 фирмы Motorola может быть спроектировано экономичное диапазонное РПрУ для приема ЧМ-сигналов. Функциональная схема микросхемы типа МС3362 приведена на рис. 2.4. В состав микросхемы входят два смесителя, два гетеродина, четыре буферных усилителя, усилитель-ограничитель, усилитель-детектор несущей частоты, предварительный УЗЧ, компаратор и частотный детектор. Найдите их на функциональной схеме (см. рис. 2.4). Позволяет ли такая микросхема спроектировать РПрУ с двойным преобразованием частоты?

6. Микросхема типа К174ХА2 представляет собой многофункциональную микросхему радиоприемного тракта, выполняющую функции усиления и преобразования сигналов с частотой входного сигнала до 27 МГц. Функциональная схема микросхемы приведена на рис. 2.5. Объясните назначение каждого функционального элемента такого РПрУ?

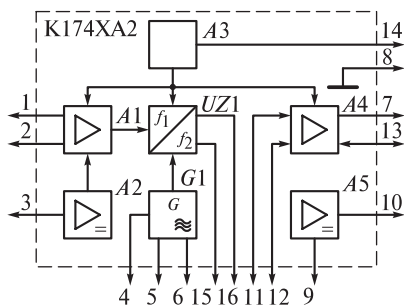


Рис. 2.5

Глава 3

ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОПРИЕМНИКОВ

В этой главе приведены примеры, предназначенные для параметров радиовещательных и телевизионных приемников, определяемых ГОСТ 5651—89: диапазон рабочих частот, чувствительность, шумовые свойства, избирательность (селективность), уровень искажений принимаемого сигнала, динамический диапазон.

3.1. Примеры расчета параметров радиоприемных устройств

Пример 1. Разобьем диапазон рабочих частот 3,95... 12,1 МГц так, чтобы коэффициент перекрытия каждого поддиапазона был не более 1,8.

Решение. Коэффициент перекрытия диапазона $k_{\text{д}} = f_{\text{макс}}/f_{\text{мин}} = 12,1/3,95 \approx 3$. Это подтверждает необходимость разбить диапазон рабочих частот на поддиапазоны.

Предположим, что диапазон частот 3,95... 12,1 МГц разбит на n равных коэффициенту перекрытия поддиапазонов $k_{\text{пд}}$ (рис. 3.1). Тогда выражение для коэффициента $k_{\text{д}}$ можно представить в виде

$$k_{\text{д}} = \frac{f_{\text{макс}}}{f_{n-1}} \frac{f_{n-1}}{f_{n-2}} \dots \frac{f_2}{f_1} \frac{f_1}{f_{\text{мин}}} = k_{\text{пд}}^n.$$

Из полученного выражения следует, что два поддиапазона, имеющих одинаковые значения $k_{\text{пд}} = 1,8$, перекроют рабочую область частот. При $n = 2$ требуемое значение коэффициента перекрытия каждого поддиапазона $k_{\text{пд}} = \sqrt{k_{\text{д}}} \approx 1,7$, а их границы составляют 3,95... 7,2 и 7,2... 12,1 МГц.

Резюме. Заметим, что при таком способе разбивки диапазона частот ширина каждого его поддиапазона возрастает с увеличением f . Следовательно, при фиксированном коэффициенте перекрытия каждого поддиапазона плотность настройки РПРУ возрастает с увеличением частоты.



Рис. 3.1

Пример 2. Вычислим ограниченную усилением чувствительность РПрУ, если коэффициент усиления линейного тракта $K = 80$ дБ, а амплитуда сигнала на входе детектора $\hat{U}_d = 1$ В.

Решение. Чувствительность, ограниченная усилением, определяется минимальной ЭДС $\hat{\epsilon}_{с.мин}$, наводимой в антенне и необходимой для получения заданной амплитуды сигнала \hat{U}_d на входе детектора, поэтому искомая чувствительность может быть рассчитана по формуле $\hat{\epsilon}_{с.мин} = \hat{U}_d / K$. Так как в примере амплитуда сигнала на входе детектора $\hat{U}_d = 1$ В и коэффициент усиления линейного тракта $K = 10\,000$, то $\hat{\epsilon}_{с.мин} = 100$ мкВ.

Резюме. Чувствительность, ограниченная усилением, характерна для РПрУ сильных сигналов в условиях, когда помехи мало влияют на прием.

Пример 3. Определим реальную чувствительность РПрУ, если отношение сигнал-шум ОСШ_{вых} = 2, коэффициент шума Ш = 10 дБ, эффективная шумовая полоса пропускания $\Pi_{эф.ш} = 6$ МГц.

Решение. Реальная чувствительность РПрУ $P_{с.мин}$ определяется минимальной мощностью сигнала на его входе при заданном ОСШ_{вых} = 2. Следовательно, $P_{с.мин} = \text{ОСШ}_{\text{вых}} P_{ш}$ будет определяться мощностью полного шума приемника $P_{ш}$, приведенного к его входу.

Коэффициент шума Ш показывает, во сколько раз уменьшается ОСШ на выходе по сравнению с его значением на входе РПрУ. Поэтому можем представить коэффициент шума как отношение мощности полного шума радиоприемника $P_{ш}$, приведенного к его входу, к номинальной мощности шума сопротивления источника сигнала $P_{ш.ист} = k_B T_0 \Pi_{эф.ш}$, где $k_B = 1,39 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана. При нормальной температуре $T_0 = 300$ К:

$$\text{Ш} = P_{ш} / P_{ш.ист} = P_{ш} / k_B T_0 \Pi_{эф.ш}.$$

Из полученного выражения следует, что

$$P_{ш} = P_{ш.ист} \text{Ш} = k_B T_0 \Pi_{эф.ш} \text{Ш}.$$

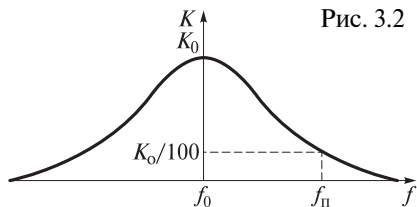
Отсюда

$$P_{с.мин} = \text{ОСШ}_{\text{вых}} P_{ш} = \text{ОСШ}_{\text{вых}} k_B T_0 \Pi_{эф.ш} \text{Ш}.$$

Подставляя исходные данные, получим значение реальной чувствительности

$$P_{с.мин} = 4,8 \cdot 10^{-13} \text{ Вт}.$$

Предельная, или пороговая, чувствительность РПрУ соответствует ОСШ_{вых} = 1. В нашем случае $P_{с.пред} = 2,4 \cdot 10^{-13}$ Вт.



Пример 4. Выразим реальную чувствительность РПрУ, вычисленную в примере 3, в единицах ЭДС сигнала на входе $\hat{\varepsilon}_{\text{ант}}$, если активное сопротивление антенны $R_{\text{ант}} = 100 \text{ Ом}$.

Решение. Так как номинальная мощность сигнала антенны определяется соотношением $P_{\text{с.ном}} = \hat{\varepsilon}_{\text{ант}}^2 / 4R_{\text{ант}}$, то

антенны определяется соотношением $P_{\text{с.ном}} = \hat{\varepsilon}_{\text{ант}}^2 / 4R_{\text{ант}}$, то

$$\hat{\varepsilon}_{\text{ант}} = \sqrt{4R_{\text{ант}}P_{\text{с.ном}}} = \sqrt{4 \cdot 100 \cdot 10^{-13}} = 1,38 \cdot 10^{-5} \text{ В.}$$

Таким образом, чувствительность в единицах ЭДС сигнала на входе РПрУ составляет 13,8 мкВ.

Пример 5. Вычислим значение относительной шумовой температуры $T_{\text{ш}}$ РПрУ, если:

мощность полного шума на выходе РПрУ $P_{\text{ш.вых}} = 20 \text{ нВт}$;

эффективная шумовая полоса пропускания $\Pi_{\text{эф.ш}} = 1 \text{ МГц}$;

коэффициент усиления мощности РПрУ $K_p = 10^6$ (60 дБ).

Решение. Если абсолютная температура РПрУ $T_{\text{пр}} = 300 \text{ К}$, то коэффициент шума рассчитаем по формуле

$$\text{Ш} = \frac{P_{\text{ш.вых}}}{K_p P_{\text{ш.ист}}} = \frac{P_{\text{ш.вых}}}{K_p k_B T_{\text{пр}} \Pi_{\text{эф.ш}}} = \frac{20 \cdot 10^{-9}}{10^6 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 10^6} \approx 5,$$

а $T_{\text{ш}} = (\text{Ш} - 1)T_{\text{пр}} = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ К}$.

Пример 6. Определим усиление сигнала на частоте настройки РПрУ, если помеха относительно сигнала ослабляется на 20 дБ, а коэффициент усиления $K_{\text{п}} = K(f_{\text{п}})$ на частоте помехи $f_{\text{п}}$ равен 10.

Решение. На рис. 3.2 показано, что $K_{\text{п}} = 10$ и $\sigma = 20 \lg(K_0/K_{\text{п}}) = 20 \text{ дБ}$, откуда $K_0/K_{\text{п}} = 10$ и коэффициент усиления сигнала равен 100.

Пример 7. Частотная избирательность РПрУ σ на частоте помехи $f_{\text{п}}$ равна 40 дБ. Во сколько раз ослабляется помеха?

Решение. Ослабление помехи характеризуется избирательностью РПрУ σ на частоте помехи $f_{\text{п}}$. Между избирательностью в децибелах и в разгах существует следующая связь: $\sigma[\text{дБ}] = 20 \lg \sigma[\text{раз}]$. Следовательно, $40 = 20 \lg \sigma$, или $\sigma = 100$. Таким образом, помеха в приемнике ослабляется в 100 раз.

3.2. Задания-ситуации

1. По требованиям ГОСТ 5651 — 89 уточните, какая группа сложности РПрУ обладает максимальной реальной чувствительностью, а какая — минимальной.

2. При проверке реальной чувствительности РПрУ на трех диапазонах получены данные, сведенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Реальная чувствительность приемника, мкВ

Диапазон	Частота		
	нижняя	средняя	верхняя
1	6	9	13
2	7	10	9
3	25	23	24

Какое значение чувствительности следует указать в техническом паспорте приемника для каждого диапазона? Значений пороговой чувствительности будут больше или меньше значения реальной чувствительности? На каком диапазоне наблюдается наибольшая чувствительность?

3. Чувствительность РПрУ на первом диапазоне –40, на втором –50, на третьем –60 дБВт. На каком диапазоне чувствительность РПрУ выше? Выразите чувствительность РПрУ в Вт, дБмВт (дБм) и дБмкВт (дБмк).

4. Два РПрУ имеют одинаковые коэффициенты усиления мощности. У одного из них наибольший коэффициент усиления мощности установлен для первого усилительного каскада, а последующие каскады обладают равными коэффициентами усиления мощности. У другого РПрУ все каскады имеют равные коэффициенты усиления мощности. Какой из этих РПрУ имеет большую чувствительность? Почему?

5. Известно, что коэффициент шума РПрУ не зависит от его полосы пропускания. В то же время самым эффективным методом уменьшения уровня помех является сужение полосы пропускания. Объясните это кажущееся противоречие.

6. РПрУ имеет коэффициент шума, равный 7. Относительная шумовая температура антенны составляет 1950 К. Требуется повысить чувствительность РПрУ не менее чем в 2 раза. Можно ли это сделать, снизив коэффициент шума?

7. Экспериментально установлено, что РПрУ, настроенное на некоторую частоту, способно принимать колебания на частотах 465 кГц (чувствительность 1 мВ), 12 МГц (чувствительность 25 мкВ) и 12,93 МГц (чувствительность 250 мкВ). Определите частоту основного канала РПрУ и его избирательность по побочным каналам приема.

8. При испытании устройства, состоящего из трех нелинейных элементов, измерили общий коэффициент его гармоник и коэф-

фициенты гармоник каждого элемента в отдельности, арифметическая сумма которых оказалась не равной общему коэффициенту гармоник. Объясните, почему?

3.3. Задачи для самоконтроля

1. Используя данные ГОСТ 5651—89 на предельные частоты настройки РПрУ, определите значения коэффициентов перекрытия диапазонов ДВ, СВ, КВ, УКВ-1 и УКВ-2.

2. Диапазон частот РПрУ разбит на пять поддиапазонов: 60...160, 160...350, 350...950 кГц; 0,95...2,0 и 2,0...4,0 МГц. Рассчитайте коэффициенты перекрытия для каждого поддиапазона. На каких поддиапазонах можно осуществить более точную настройку РПрУ, если длина шкалы для всех поддиапазонов постоянна?

3. Приняв уровни полезного сигнала на входе РПрУ разных групп сложности равными значениям, указанным в ГОСТ 5651—89, рассчитайте напряжения шумов в диапазонах ДВ, СВ и КВ.

4. Определите эффективное напряжение теплового шума, создаваемое резистором с сопротивлением 100 Ом, если температура окружающей среды 300 К, а эффективная шумовая полоса пропускания усилителя, в схему которого включен резистор, равна 10 кГц.

5. Эквивалентное резонансное сопротивление контура составляет 20 кОм, температура среды равна 290 К, эффективная шумовая полоса пропускания колебательного контура составляет 8 кГц. Определите эффективное напряжение теплового шума на зажимах параллельного колебательного контура.

6. Коэффициент шума каждого каскада двухкаскадного усилителя равен 3, а коэффициент усиления мощности каждого из них составляет 12. Определите коэффициент шума усилителя.

7. В двухкаскадном УРЧ эффективное напряжение тепловых шумов на входе каждого каскада составляет 3 мкВ, а коэффициент усиления напряжения каждого каскада равен 5. Определите эффективное напряжение тепловых шумов на выходе двухкаскадного усилителя.

8. Отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе РПрУ равно 4, коэффициент шума РПрУ составляет 12 дБ. Определите отношение сигнал-шум на входе РПрУ.

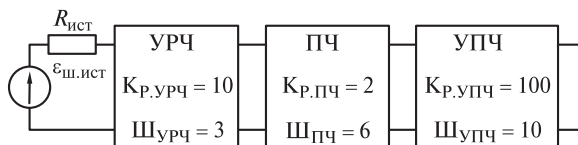


Рис. 3.3

9. Мощность сигнала на входе РПрУ составляет 12 пВт, а на выходе 1 Вт, мощность шумов на его входе равна 0,3 пВт, а на выходе 0,1 Вт. Определите коэффициент шума РПрУ.

10. Определите относительную шумовую температуру РПрУ, структурная схема которого приведена на рис. 3.3.

11. Относительная шумовая температура РПрУ равна 150 К. Можно ли улучшить чувствительность РПрУ, введя в его состав УРЧ, имеющий относительную шумовую температуру 100 К и коэффициент усиления мощности, равный 3?

12. Используя данные, приведенные в ГОСТ 5651 — 89, определите, во сколько раз должен быть ослаблен сигнал на крайних частотах полосы пропускания РПрУ при расстройке, равной ± 9 кГц, в диапазонах ДВ и СВ в зависимости от группы сложности РПрУ.

13. Два РПрУ имеют полосы пропускания на уровнях 0,707 и 0,01 соответственно: первый 6 и 4 кГц, второй 7 и 70 кГц. Вычислите коэффициент прямоугольности каждого РПрУ на уровне 0,01. Ответьте, какое РПрУ обладает лучшей избирательностью по соседнему каналу?

14. На рис. 3.4 показаны кривые односигнальной избирательности супергетеродинного РПрУ, снятые для следующих частот настройки: 150, 250 и 350 кГц. Определите избирательность РПрУ по соседнему каналу на каждой частоте приема. На какой частоте она будет выше? К какой группе сложности по избирательности следует отнести РПрУ, если сравнить данные вычислений с требованиями соответствующего ГОСТа?

15. Используя значения из табл. 3.2, вычислите коэффициенты частотных искажений в относительных единицах и полосу вос-

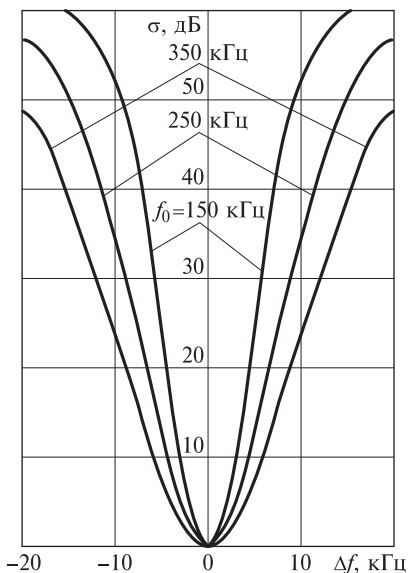


Рис. 3.4

Таблица 3.2

Частотные искажения РПрУ

f , Гц	40	80	100	200	400	1000	2000	4000	6000
M , дБ	10,8	3,0	1,6	0	0	0	0,2	1,2	3,0

производимых частот РПрУ, если допустимое ослабление на крайних частотах должно быть не более 0,707.

16. Найдите полосы пропускания на уровне 0,707 для каждой частоты настройки РПрУ по кривым односигнальной избирательности, приведенным на рис. 3.4.

17. Рассчитайте коэффициенты прямоугольности на уровне 0,01 для каждой кривой односигнальной избирательности, показанные на рис. 3.4.

18. Рассчитайте сумму квадратов высших гармонических составляющих выходного напряжения РПрУ, если напряжение первой гармоники равно 10 В, а коэффициент гармоник составляет 4 %.

19. Коэффициент гармоник равен 5 %, амплитуда первой гармоники 10 В, третьей 100 мВ; высшие гармоники ничтожно малы. Определите амплитуду второй гармоники выходного напряжения РПрУ.