

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Кафедра У и СРС*

**Курсовая работа**

**Расчет радиоприёмного устройства**

Выполнил: Бадалов Ж

Руководитель: Давронбеков Д

Ташкент 2011

## Содержание

Введение.....	3
1. Обоснование требований ТЗ.....	5
2. Разработка структурной схемы.....	6
3. Предварительный расчёт.....	9
4. Электрический расчёт узлов РПУ.....	6
5. Моделирование узла временного разделения каналов .....	5
Заключение.....	42
Список использованной литературы.....	43

## ВВЕДЕНИЕ

Радиоприемные устройства входят в состав радиотехнических систем связи, т.е. систем передачи информации с помощью электромагнитных волн

Радиоприемное устройство состоит из приемной антенны, радиоприемника и оконечного устройства предназначенного для воспроизведения сигналов. Радиоприемники можно классифицировать по ряду признаков, из которых основными являются: тип схемы, вид принимаемых сигналов, назначение приемника, диапазон частот, вид активных элементов, используемых в приемнике, тип конструкции приемника.

По типу схем различают приемники детекторные, прямого усиления (без регенерации и с регенерацией), сверхрегенеративные и супергетеродинные приемники, обладающие существенными преимуществами перед приемниками других типов и широко применяемые на всех диапазонах приемников.

Принимаемые сигналы служат для передачи сообщений или измерения положения и параметров относительного движения объектов. Сигналы могут передавать сообщения от одного источника или нескольких. Для передачи информации используется изменение одного из параметров сигнала по закону изменения информационного сигнала. Используются: непрерывные колебания с изменяемой (модулированной) амплитудой, частотой или фазой; колебания, скачкообразно изменяемые (манипулированные) по амплитуде, частоте, или разности фаз; колебания с изменяемой амплитудой, частотой или фазой, которые обусловлены видеоимпульсами с амплитудной, широтной, временной, или дельта-модуляцией, а также кодовыми группами видеоимпульсов.

По назначению различают приемники связные, радиовещательные, телевизионные, радиорелейных и телеметрических линий, радиолокационные, радионавигационные и другие. Связные радиоприемники

чаще всего служат для приема одноканальных непрерывных сигналов с АМ (с несущей и боковыми полосами), ОБП (однополосной) и ЧМ или дискретных сигналов с амплитудной манипуляцией, частотной или фазовой. Радиовещательные приемники (монофонические) принимают одноканальные непрерывные сигналы с АМ на длинных, средних и коротких волнах и с ЧМ на ультракоротких волнах. Приемники черно-белых телевизионных программ принимают непрерывные сигналы с АМ и частичным подавлением одной боковой полосы частот и звуковые сигналы с ЧМ. Приемники цветных телевизионных программ принимают также сигналы, создающие цветное изображение. Приемники оконечных станций радиорелейных и телеметрических линий обычно предназначены для приема и разделения каналов многоканальных сигналов с частотным и временным уплотнением.

Приемники промежуточных станций радиорелейных линий (наземных и спутниковых) отличаются от приемников оконечных станций тем, что в них не происходит разделения многоканальных сигналов.

Импульсные радиолокационные приемо-передающие станции обычно излучают зондирующие радиоимпульсы с фиксированными периодами следования, длительностью импульсов, амплитудой и несущей частотой. Приемники таких станций служат для приема части энергии зондирующих сигналов, отраженной от целей. Отраженные сигналы могут быть импульсными или непрерывными, причем информация о целях может содержаться в изменении во времени амплитуды (или отношения амплитуд) и частоты (или спектре) сигналов.

Согласно рекомендации МККР (Международного консультативного комитета по радио) спектр радиосвязи делится на диапазоны. Наиболее широко распространенные приемники работают в диапазоне 30 кГц - 300 ГГц (на волнах 10 км - 1мм).

В качестве активных элементов каскадов приемников, работающих на частотах 30 кГц - 300 МГц, используются полупроводниковые приборы и электронные лампы. Предпочтение отдается полупроводниковым приборам

благодаря их преимуществам (малые габаритные размеры и масса; низкие напряжения и токи питания; большой срок службы и механическая прочность).

Приемники конструктивно выполняются из отдельных (навесных) активных и пассивных элементов с печатным или объемным монтажом или из готовых интегральных микросхем, представляющих собой каскады, узлы приемников и даже целые приемники.

# 1. Технические требования к проектируемому устройству

1. Приемник радиовещательный переносной

2. Таблица входящих компонентов.

Таблица 1.1

ЧМ	АМ	УНЧ
0	0	0

3. Состав и границы диапазонов:

ДВ – 148,0...285,0 кГц ( 2027,0...1050,0 м );

СВ – 525,0...1607,0 кГц (571,4...186,7 м);

КВ1 – 3,95...6,00 МГц (75,95...50,0 м);

КВ2 – 6,0...6,2 МГц (50,0...48,4 м);

КВ3 – 7,15...7,30 МГц (41,96...41,10 м);

КВ4 – 9,50...9,78 МГц (31,57...30,67 м);

КВ5 – 11,70...11,98 МГц (25,64...25,04 м);

УКВ – 65,8...74,0 МГц (4,56-4,06 м)

4. Промежуточная частота :  $465 \pm 2$  кГц (АМ тракт),  $10,7 \pm 0,1$  МГц (ЧМ тракт).

5. Чувствительность АМ тракта, ограниченная шумами, при соотношении сигнал/шум не менее 20 дБ по напряженности, мВ/м, не хуже, в диапазонах:

ДВ – 1;

СВ – 0,5;

КВ – 0,1.

6. Односигнальная избирательность АМ тракта по соседнему каналу при расстройке  $\pm 9$  кГц не менее 56 дБ.

7. Односигнальная избирательность по зеркальному каналу, дБ, не менее, в диапазонах:

ДВ (на частоте 200 кГц) - 60;

СВ (на частоте 1000 кГц) – 60;

КВ (на частоте 11,8 МГц) - 30.

8. Односигнальная избирательность АМ тракта по промежуточной частоте на частотах 280 кГц и 560 кГц, не менее 34 дБ.

9. Действие автоматической регулировки усиления в АМ тракте

- изменение уровня сигнала на входе – 60 дБ;

- изменение уровня сигнала на выходе - не более 6 дБ.

10. Диапазон воспроизводимых частот всего тракта по звуковому давлению

при неравномерности 14 дБ в диапазоне СВ и 18 дБ в диапазоне ДВ – не уже 80...5000 Гц.

11. Коэффициент гармоник АМ тракта по электрическому напряжению на частотах модуляции свыше 400 Гц, не больше 2 %.

12. Выходная мощность тракта УНЧ при питании от автомобильного источника постоянного тока – 1 Вт.

13. Диапазон воспроизводимых частот тракта УНЧ по электрическому напряжению на уровне 3 дБ - не менее 40 – 16000 Гц.

14. Коэффициент гармоник тракта УНЧ по электрическому напряжению на частоте 1000 Гц, не более 0,5 %.

15. В трактах АМ и ЧМ должны быть предусмотрены следующие потребительские удобства:

- розетка для подключения внешней антенны;
- розетка для подключения магнитофона на запись;
- встроенная антенна;
- индикатор настройки;
- регулятор полосы пропускания по промежуточной частоте (“широкая - узкая”).

16. В тракте УНЧ должны быть предусмотрены следующие потребительские удобства:

- розетка для подключения головного телефона;
- регулятор тембра по низким и высоким звуковым частотам.

17. Дополнительно должны быть предусмотрены следующие свойства общего назначения:

- подсветка шкалы;
- индикатор включения;
- встроенный блок питания;
- указатель рабочего положения регуляторов.

18. Нормы на параметры входа для подключения внешних источников программ (“УНЧ – универсальный вход”):

- входное сопротивление – не менее 470 кОм;
- минимальная ЭДС источника сигнала не менее 0,2 В.

19. Нормы на параметры выходов трактов АМ и ЧМ для подключения магнитофона на запись:

- выходное сопротивление нагрузки – не более 150 кОм;
- номинальное сопротивление нагрузки – 47 кОм;

- минимальный выходной ток – не менее 0,2 мВ/кОм.

## 2. Выбор и обоснование структурной схемы

Структурные схемы приемников различаются построением тракта радиочастоты, в котором может осуществляться прямое усиление входных сигналов и усиление их с преобразованием частоты.

В приемниках прямого усиления тракт радиочастоты содержит входную цепь (ВЦ) и усилитель поступающего с антенны радиосигнала – так называемый усилитель радиосигнала (УРС). В этом случае все резонансные цепи настроены на частоту принимаемого радиосигнала, на которой и осуществляется усиление. Входная цепь обеспечивает предварительную частотную селекцию до первого каскада УРС, а сам УРС – основную частотную селекцию и до детекторное усиление сигналов. Резонансные контуры ВЦ и УРС перестраиваются в пределах нужного диапазона рабочих частот. Так как обычно необходима высокая избирательность и усиление, то может потребоваться несколько усилительных каскадов и резонансных контуров. Из-за конструктивной сложности реализации перестройки число контуров редко превышает 3...4. При этом усиление на радиочастоте может оказаться неустойчивым, а селективность недостаточной.

Для уменьшения числа усилительных каскадов и упрощения конструкции в тракте радиочастоты приемников прямого усиления используются регенеративные и суперрегенеративные усилители. В приемнике с регенеративным усилителем за счет положительной обратной связи в резонансный контур вносится отрицательное сопротивление, частично компенсирующее потери в нем, что увеличивает коэффициент усиления. Однако такие приемники обладают невысокой устойчивостью, так как работают в режиме близком к самовозбуждению. При этом возможно проникновение генерируемых колебаний в антенну, а их излучение ведет к усилению помех другим приемником, что крайне нежелательно с точки зрения электромагнитной совместимости.

В суперрегенеративном приемнике положительная обратная связь с УРС периодически изменяется с некоторой вспомогательной частотой, значительно превышающей частоту модуляции сигнала. Суперрегенеративному приемнику, как и регенеративному, свойственны искажения сигналов и интенсивные паразитные излучения, что не отвечает требованиям электромагнитной совместимости. Их достоинством является малая мощность источников питания при минимальных размерах и массе. Поэтому подобная структура используется для портативных приемников, допускающих большой уровень искажений.

Наибольшее распространение для подавляющего большинства радиосистем различного назначения получила супергетеродинная структура приемника с одно- или многократным преобразованием частоты (рис.2.1).

Часть приемника – преселектор, включающий ВЦ и УРС, подобен структуре приемника прямого усиления и обеспечивает чувствительность и предварительную селекцию по частоте. С выхода преселектора напряжение сигналов и помех поступает на преобразователь частоты (ПЧ), где происходит изменение несущей частоты сигнала  $f_c$ .

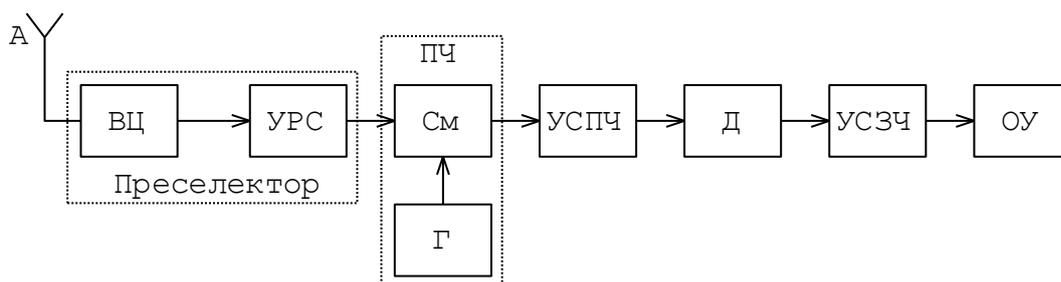


Рис.2.1. Структурная схема приемника супергетеродинного типа

Для этого сигнал и колебания местного генератора - гетеродина (Г) одновременно воздействуют на смеситель (См), представляющий собой нелинейный или параметрический элемент.

В результате на выходе смесителя возникает колебание, содержащие составляющие с частотой сигнала  $f_c$  и его гармоник, гетеродина  $f_r$  и его гармоник и большое число комбинационных составляющих с частотами  $f = |n \cdot f_r \pm m \cdot f_c|$  ( $n, m = 0, 1, 2, \dots$  - целые числа). Одна из этих комбинационных частот и используется в качестве новой несущей частоты выходного сигнала, называется промежуточной частотой:

$$f_{п} = f_r - f_c. \quad (2.1)$$

Поскольку сигнал несет в себе полезную информацию, в процессе преобразования частоты эта информация должна сохраняться, то есть ПЧ должен быть линейным. Таким образом, в процессе преобразования частоты происходит перенос спектра сигнала в область промежуточной частоты без нарушения амплитудных и фазовых соотношений его составляющих. Частотно-избирательные блоки, расположенные за смесителем, настроены на частоту  $f_{п}$  и называются усилителями сигналов промежуточной частоты (УСПЧ). Промежуточная частота  $f_{п}$  всегда фиксирована, не зависит от частоты принимаемого сигнала  $f_c$  и выбирается намного ниже частоты сигнала. Поэтому на частоте  $f_{п}$  легко обеспечить требуемое устойчивое усиление. Так как УСПЧ не перестраивается по частоте, то это позволяет получить в супергетеродинном приемнике высокую частотную избирательность при неизменной полосе пропускания, а также реализовать

оптимальную фильтрацию сигнала от помех, применяя согласованные фильтры на промежуточной частоте. Таким образом, в супергетеродинном приемнике устраняются основные недостатки приемника прямого усиления.

### 3. Предварительное проектирование приемника в диапазонах СВ, ДВ, КВ1, КВ2, КВ3, КВ4, КВ5, УКВ

#### 3.1. Определение ширины полосы пропускания тракта высокой частоты

Полоса пропускания высокочастотного тракта определяется по формуле

$$F_n = 2 \cdot F_B = 2 \cdot 5000 = 10000 \text{ Гц} \quad (3.1.1)$$

#### 3.2. Выбор блока КПЕ и проверка перекрытия диапазонов

Проверяем правильность выбора блока КПЕ для диапазона СВ, так как это диапазон с наибольшим коэффициентом перекрытия. Зададимся минимальным и максимальным значениями емкости КПЕ

$$C_{\text{МИН}} = 12 \text{ нФ},$$

$$C_{\text{МАКС}} = 495 \text{ нФ}.$$

Границы диапазона СВ с обеспечением производственного запаса

$$f'_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot f_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot 1607 \cdot 10^3 = 1639 \cdot 10^3 \text{ Гц}, \quad (3.2.2)$$

$$f'_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot f_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot 525 \cdot 10^3 = 514,5 \cdot 10^3 \text{ Гц}. \quad (3.2.3)$$

Коэффициент перекрытия с учетом запаса

$$K_{\text{ПЗ}} = \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f'_{\text{МИН}}} = \frac{1639 \cdot 10^3}{514,5 \cdot 10^3} = 3,2. \quad (3.2.4)$$

Вычисляем эквивалентную емкость схемы  $C_{\text{СХ}}$ , включенной параллельно емкости КПЕ и ограничиваемой коэффициентом перекрытия ВЦ или УРС

$$C_{\text{СХ}} = C_M + C_L + C_{\text{ВН}} + C_{\text{ПСП}}, \quad (3.2.5)$$

где  $C_M$  - емкость монтажа,

$C_L$  - собственная емкость катушки контура,

$C_{\text{ВН}}$  - емкость, вносимая в контур со стороны источника сигнала и нагрузки,

$C_{\text{ПСП}}$  - среднее значение емкости подстроечного конденсатора.

$$C_{\text{СХ}} = C_M + C_L + C_{\text{ВН}} + C_{\text{ПСП}} = 8 \cdot 10^{-12} + 8 \cdot 10^{-12} + 6 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 32 \text{ нФ}. \quad (3.2.6)$$

Определим требуемую емкость схемы  $C_9$ , при которой выбранный блок КПЕ обеспечивает перекрытие диапазона

$$C_э = \frac{C_{\text{МАКС}} - K_{\text{ПЗ}}^2 \cdot C_{\text{МИН}}}{K_{\text{ПЗ}}^2 - 1} = \frac{495 \cdot 10^{-12} - 3,2^2 \cdot 12 \cdot 10^{-12}}{3,2^2 - 1} = 40,3 \text{ нФ}. \quad (3.2.7)$$

Дополнительная емкость  $C_{\text{доп}}$ , которую необходимо включить в контур для получения заданного перекрытия

$$C_{\text{доп}} = C_э - C_{\text{СХ}} = 40,3 \cdot 10^{-12} - 32 \cdot 10^{-12} = 8,3 \text{ нФ}. \quad (3.2.8)$$

Для данного диапазона рассчитываем минимальную и максимальную эквивалентные емкости контура, значения которых понадобятся при оценке требуемого усиления до детектора и в электрическом расчете

$$C_{\text{К.МИН}} = C_{\text{МИН}} + C_э = 12 \cdot 10^{-12} + 40,3 \cdot 10^{-12} = 52,3 \text{ нФ}, \quad (3.2.9)$$

$$C_{\text{К.МАКС}} = C_{\text{МАКС}} + C_э = 495 \cdot 10^{-12} + 40,3 \cdot 10^{-12} = 535,3 \text{ нФ}. \quad (3.2.10)$$

**Аналогично определим предельные значения эквивалентной емкости контуров на диапазоне ДВ.** Границы диапазона ДВ с обеспечением производственного запаса

$$f'_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot f_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot 148 \cdot 10^3 = 145 \cdot 10^3 \text{ Гц}, \quad (3.2.11)$$

$$f'_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot f_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot 285 \cdot 10^3 = 290,7 \cdot 10^3 \text{ Гц}. \quad (3.2.12)$$

Коэффициент перекрытия с учетом запаса

$$K_{\text{ПЗ}} = \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f'_{\text{МИН}}} = \frac{290,7 \cdot 10^3}{145 \cdot 10^3} = 2. \quad (3.2.13)$$

Вычисляем эквивалентную емкость схемы  $C_{\text{СХ}}$ , включенной параллельно емкости КПЕ и ограничиваемой коэффициентом перекрытия ВЦ или УРС

$$C_{\text{СХ}} = C_{\text{М}} + C_{\text{Л}} + C_{\text{ВН}} + C_{\text{ПСП}} = 8 \cdot 10^{-12} + 15 \cdot 10^{-12} + 6 \cdot 10^{-12} + 10 \cdot 10^{-12} = 39 \text{ нФ}. \quad (3.2.14)$$

Определим требуемую емкость схемы  $C_э$ , при которой выбранный блок КПЕ обеспечивает перекрытие диапазона

$$C_э = \frac{C_{\text{МАКС}} - K_{\text{ПЗ}}^2 \cdot C_{\text{МИН}}}{K_{\text{ПЗ}}^2 - 1} = \frac{495 \cdot 10^{-12} - 2^2 \cdot 12 \cdot 10^{-12}}{2^2 - 1} = 149 \text{ нФ}. \quad (3.2.15)$$

Дополнительная емкость  $C_{\text{доп}}$ , которую необходимо включить в контур для получения заданного перекрытия

$$C_{\text{доп}} = C_э - C_{\text{СХ}} = 149 \cdot 10^{-12} - 39 \cdot 10^{-12} = 110 \text{ нФ}. \quad (3.2.16)$$

Для данного диапазона рассчитываем минимальную и максимальную эквивалентные емкости контура

$$C_{\text{К.МИН}} = C_{\text{МИН}} + C_э = 12 \cdot 10^{-12} + 149 \cdot 10^{-12} = 161 \text{ нФ}, \quad (3.2.17)$$

$$C_{\text{К.МАКС}} = C_{\text{МАКС}} + C_э = 495 \cdot 10^{-12} + 149 \cdot 10^{-12} = 644 \text{ нФ}. \quad (3.2.18)$$

**Для диапазона КВ1** используем параллельно – последовательную схему (рис. 3.2.2)

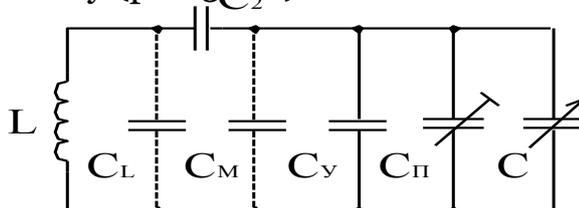


Рис.3.2 Параллельно – последовательная схема уменьшения коэффициента перекрытия контура

Определяем емкость схемы

$$C_{CX} = C_M + C_L = 8 \cdot 10^{-12} + 8 \cdot 10^{-12} = 16 \text{ нФ}. \quad (3.2.19)$$

Выбираем эквивалентную емкость схемы  $C_э = 170 \text{ нФ}$ . Границы диапазона КВ1 с обеспечением производственного запаса

$$f'_{МИН} = 0,98 \cdot f_{МИН} = 0,98 \cdot 3,95 \cdot 10^6 = 3,871 \cdot 10^6 \text{ Гц}, \quad (3.2.20)$$

$$f'_{МАКС} = 1,02 \cdot f_{МАКС} = 1,02 \cdot 6 \cdot 10^6 = 6,12 \cdot 10^6 \text{ Гц}. \quad (3.2.21)$$

Коэффициент перекрытия с учетом запаса

$$K_{ПЗ} = \frac{f'_{МАКС}}{f'_{МИН}} = \frac{6,12 \cdot 10^6}{3,871 \cdot 10^6} = 1,58. \quad (3.2.22)$$

Определяем вспомогательный коэффициент

$$T = \frac{\Delta C \cdot (K_{ПЗ}^2 \cdot C_э - C_{CX}) \cdot (C_э - C_{CX})}{C_э \cdot (K_{ПЗ}^2 - 1)} = \quad (3.2.23)$$

$$= \frac{483 \cdot 10^{-12} \cdot (1,58^2 \cdot 170 \cdot 10^{-12} - 16 \cdot 10^{-12}) \cdot (170 - 16) \cdot 10^{-12}}{170 \cdot 10^{-12} \cdot (1,58^2 - 1)} = 119455,8 \cdot 10^{-24},$$

где

$$\Delta C = C_{МАКС} - C_{МИН} = 495 \cdot 10^{-12} - 12 \cdot 10^{-12} = 483 \text{ нФ}. \quad (3.2.24)$$

Определим дополнительные емкости

$$C_1 = \sqrt{\frac{\Delta C^2}{4} + T} - \frac{\Delta C}{2} = \sqrt{\frac{(483 \cdot 10^{-12})^2}{4} + 119455,8 \cdot 10^{-24}} - \frac{483 \cdot 10^{-12}}{2} = 180 \text{ нФ}, \quad (3.2.25)$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_0}{C_1 - C_0} = \frac{180 \cdot 10^{-12} \cdot 154 \cdot 10^{-12}}{180 \cdot 10^{-12} - 154 \cdot 10^{-12}} = 1,1 \text{ нФ}, \quad (3.2.26)$$

$$\text{где } C_0 = C_э - C_{CX} = (170 - 16) \cdot 10^{-12} = 154 \text{ нФ}. \quad (3.2.27)$$

Выбираем подстроечный конденсатор, так чтобы выполнялось условие

$$C_{П.СР} \leq C_1. \quad (3.2.28)$$

Берем конденсатор **КТ4-21Б** с параметрами:  
 $C = 6 \dots 30 \text{ нФ}, C_{П.СР} = 18 \text{ нФ}$ .

Определяем емкость уравнивающего конденсатора

$$C_Y = C_1 - C_{П.СР} = (180 - 18) \cdot 10^{-12} = 162 \text{ нФ}. \quad (3.2.29)$$

Определяем максимальную и минимальную емкости контура

$$C'_{МАКС} = C_M + C_{П.СР} + C_Y + C_{МАКС} = (8 + 18 + 162 + 495) \cdot 10^{-12} = 683 \text{ нФ}, \quad (3.2.30)$$

$$C'_{МИН} = C_M + C_{П.СР} + C_Y + C_{МИН} = (8 + 18 + 162 + 12) \cdot 10^{-12} = 200 \text{ нФ}, \quad (3.2.31)$$

$$C_{К.МИН} = \left( C_L + \frac{C_2 \cdot C'_{МИН}}{C_2 + C'_{МИН}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{1,1 \cdot 10^{-10} \cdot 200 \cdot 10^{-12}}{(1100 + 200) \cdot 10^{-12}} \right) = 177 \text{ нФ}, \quad (3.2.32)$$

$$C_{К.МАКС} = \left( C_L + \frac{C_2 \cdot C'_{МАКС}}{C_2 + C'_{МАКС}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{1100 \cdot 10^{-12} \cdot 683 \cdot 10^{-12}}{(1100 + 683) \cdot 10^{-12}} \right) = 429 \text{ нФ}. \quad (3.2.33)$$

## Для диапазона КВ2

Границы диапазона КВ2 с обеспечением производственного запаса

$$f'_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot f_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot 6,0 \cdot 10^6 = 5,88 \cdot 10^6 \text{ Гц}, \quad (3.2.34)$$

$$f'_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot f_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot 6,2 \cdot 10^6 = 6,324 \cdot 10^6 \text{ Гц}. \quad (3.2.35)$$

Коэффициент перекрытия с учетом запаса

$$K_{\text{П.З}} = \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f'_{\text{МИН}}} = \frac{6,324 \cdot 10^6}{5,88 \cdot 10^6} = 1,08. \quad (3.2.36)$$

Определяем вспомогательный коэффициент

$$T = \frac{\Delta C \cdot (K_{\text{П.З}}^2 \cdot C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}}) \cdot (C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}})}{C_{\text{Э}} \cdot (K_{\text{П.З}}^2 - 1)} =$$

$$= \frac{483 \cdot 10^{-12} \cdot (1,08^2 \cdot 170 \cdot 10^{-12} - 16 \cdot 10^{-12}) \cdot (170 - 16) \cdot 10^{-12}}{170 \cdot 10^{-12} \cdot (1,08^2 - 1)} = 4,793 \cdot 10^{-19} \quad (3.2.37)$$

где

$$\Delta C = C_{\text{МАКС}} - C_{\text{МИН}} = 495 \cdot 10^{-12} - 12 \cdot 10^{-12} = 483 \text{ нФ}. \quad (3.2.38)$$

Определим дополнительные емкости

$$C_1 = \sqrt{\frac{\Delta C^2}{4} + T} - \frac{\Delta C}{2} = \sqrt{\frac{(483 \cdot 10^{-12})^2}{4} + 479300 \cdot 10^{-24}} - \frac{483 \cdot 10^{-12}}{2} = 490 \text{ нФ}, \quad (3.2.39)$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_0}{C_1 - C_0} = \frac{490 \cdot 10^{-12} \cdot 154 \cdot 10^{-12}}{490 \cdot 10^{-12} - 154 \cdot 10^{-12}} = 224 \text{ нФ}, \quad (3.2.40)$$

где

$$C_0 = C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}} = (170 - 16) \cdot 10^{-12} = 154 \text{ нФ}. \quad (3.2.41)$$

Выбираем подстроечный конденсатор, так чтобы выполнялось условие

$$C_{\text{П.СР}} \leq C_1. \quad (3.2.42)$$

Берем конденсатор КТ4-21Б с параметрами:

$$C = 6 \dots 30 \text{ нФ}, C_{\text{П.СР}} = 18 \text{ нФ}.$$

Определяем емкость уравнивающего конденсатора

$$C_{\text{У}} = C_1 - C_{\text{П.СР}} = (490 - 18) \cdot 10^{-12} = 472 \text{ нФ}. \quad (3.2.43)$$

Определяем максимальную и минимальную емкости контура

$$C'_{\text{МАКС}} = C_{\text{М}} + C_{\text{П.СР}} + C_{\text{У}} + C_{\text{МАКС}} = (8 + 18 + 472 + 495) \cdot 10^{-12} = 995 \text{ нФ}, \quad (3.2.44)$$

$$C'_{\text{МИН}} = C_{\text{М}} + C_{\text{П.СР}} + C_{\text{У}} + C_{\text{МИН}} = (8 + 18 + 472 + 12) \cdot 10^{-12} = 512 \text{ нФ}, \quad (3.2.45)$$

$$C_{\text{К.МИН}} = \left( C_{\text{Л}} + \frac{C_2 \cdot C'_{\text{МИН}}}{C_2 + C'_{\text{МИН}}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{224 \cdot 10^{-12} \cdot 510 \cdot 10^{-12}}{(224 + 510) \cdot 10^{-12}} \right) = 163 \text{ нФ}, \quad (3.2.46)$$

$$C_{\text{К.МАКС}} = \left( C_{\text{Л}} + \frac{C_2 \cdot C'_{\text{МАКС}}}{C_2 + C'_{\text{МАКС}}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{83 \cdot 10^{-12} \cdot 683 \cdot 10^{-12}}{(83 + 683) \cdot 10^{-12}} \right) = 191 \text{ нФ}. \quad (3.2.47)$$

## Для диапазона КВ3

**Границы диапазона КВ3 с обеспечением производственного запаса**

$$f'_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot f_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot 6.2 \cdot 10^6 = 7,07 \cdot 10^6 \text{ Гц}, \quad (3.2.48)$$

$$f'_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot f_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot 7.3 \cdot 10^6 = 7,446 \cdot 10^6 \text{ Гц}. \quad (3.2.21)$$

**Коэффициент перекрытия с учетом запаса**

$$K_{\text{П.З}} = \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f'_{\text{МИН}}} = \frac{7,446 \cdot 10^6}{7,07 \cdot 10^6} = 1,05. \quad (3.2.49)$$

**Определяем вспомогательный коэффициент**

$$T = \frac{\Delta C \cdot (K_{\text{П.З}}^2 \cdot C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}}) \cdot (C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}})}{C_{\text{Э}} \cdot (K_{\text{П.З}}^2 - 1)} = \frac{483 \cdot 10^{-12} \cdot (1,05^2 \cdot 170 \cdot 10^{-12} - 16 \cdot 10^{-12}) \cdot (170 - 16) \cdot 10^{-12}}{170 \cdot 10^{-12} \cdot (1,05^2 - 1)} = 7,318 \cdot 10^{-19} \quad (3.2.50)$$

где  $\Delta C = C_{\text{МАКС}} - C_{\text{МИН}} = 495 \cdot 10^{-12} - 12 \cdot 10^{-12} = 483 \text{ нФ}. \quad (3.2.51)$

**Определим дополнительные емкости**

$$C_1 = \sqrt{\frac{\Delta C^2}{4} + T} - \frac{\Delta C}{2} = \sqrt{\frac{(483 \cdot 10^{-12})^2}{4} + 731800 \cdot 10^{-24}} - \frac{483 \cdot 10^{-12}}{2} = 406 \text{ нФ}, \quad (3.2.52)$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_0}{C_1 - C_0} = \frac{406 \cdot 10^{-12} \cdot 154 \cdot 10^{-12}}{406 \cdot 10^{-12} - 154 \cdot 10^{-12}} = 248 \text{ нФ}, \quad (3.2.53)$$

где

$$C_0 = C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}} = (170 - 16) \cdot 10^{-12} = 154 \text{ нФ}. \quad (3.2.54)$$

**Выбираем подстроечный конденсатор, так чтобы выполнялось условие**

$$C_{\text{П.СР}} \leq C_1. \quad (3.2.55)$$

**Берем конденсатор КТ4-21Б с параметрами:**

$$C = 6 \dots 30 \text{ нФ}, C_{\text{П.СР}} = 18 \text{ нФ}.$$

**Определяем емкость уравнительного конденсатора**

$$C_{\text{У}} = C_1 - C_{\text{П.СР}} = (406 - 18) \cdot 10^{-12} = 629 \text{ нФ}. \quad (3.2.56)$$

**Определяем максимальную и минимальную емкости контура**

$$C'_{\text{МАКС}} = C_{\text{М}} + C_{\text{П.СР}} + C_{\text{У}} + C_{\text{МАКС}} = (8 + 18 + 629 + 495) \cdot 10^{-12} = 1150 \text{ нФ}, \quad (3.2.57)$$

$$C'_{\text{МИН}} = C_{\text{М}} + C_{\text{П.СР}} + C_{\text{У}} + C_{\text{МИН}} = (8 + 18 + 629 + 12) \cdot 10^{-12} = 667 \text{ нФ}, \quad (3.2.58)$$

$$C_{\text{К.МИН}} = \left( C_{\text{Л}} + \frac{C_2 \cdot C'_{\text{МИН}}}{C_2 + C'_{\text{МИН}}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{248 \cdot 10^{-12} \cdot 667 \cdot 10^{-12}}{(248 + 667) \cdot 10^{-12}} \right) = 189 \text{ нФ}, \quad (3.2.59)$$

$$C_{\text{К.МАКС}} = \left( C_{\text{Л}} + \frac{C_2 \cdot C'_{\text{МАКС}}}{C_2 + C'_{\text{МАКС}}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{248 \cdot 10^{-12} \cdot 1150 \cdot 10^{-12}}{(248 + 1150) \cdot 10^{-12}} \right) = 212 \text{ нФ}. \quad (3.2.60)$$

**Для диапазона КВ4**

**Границы диапазона КВ4 с обеспечением производственного запаса**

$$f'_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot f_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot 9.5 \cdot 10^6 = 9,31 \cdot 10^6 \text{ Гц}, \quad (3.2.61)$$

$$f'_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot f_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot 7.3 \cdot 10^6 = 9,97 \cdot 10^6 \text{ Гц}. \quad (3.2.62)$$

Коэффициент перекрытия с учетом запаса

$$K_{П.З} = \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f'_{\text{МИН}}} = \frac{9,97 \cdot 10^6}{9,31 \cdot 10^6} = 1,07. \quad (3.2.63)$$

Определяем вспомогательный коэффициент

$$T = \frac{\Delta C \cdot (K_{П.З}^2 \cdot C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}}) \cdot (C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}})}{C_{\text{Э}} \cdot (K_{П.З}^2 - 1)} =$$

$$= \frac{483 \cdot 10^{-12} \cdot (1,07^2 \cdot 170 \cdot 10^{-12} - 16 \cdot 10^{-12}) \cdot (170 - 16) \cdot 10^{-12}}{170 \cdot 10^{-12} \cdot (1,07^2 - 1)} = 5,39 \cdot 10^{-19} \quad (3.2.64)$$

где  $\Delta C = C_{\text{МАКС}} - C_{\text{МИН}} = 495 \cdot 10^{-12} - 12 \cdot 10^{-12} = 483 \text{ нФ}. \quad (3.2.65)$

Определим дополнительные емкости

$$C_1 = \sqrt{\frac{\Delta C^2}{4} + T} - \frac{\Delta C}{2} = \sqrt{\frac{(483 \cdot 10^{-12})^2}{4} + 539000 \cdot 10^{-24}} - \frac{483 \cdot 10^{-12}}{2} = 531 \text{ нФ}, \quad (3.2.66)$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_0}{C_1 - C_0} = \frac{531 \cdot 10^{-12} \cdot 154 \cdot 10^{-12}}{531 \cdot 10^{-12} - 154 \cdot 10^{-12}} = 216,9 \text{ нФ}, \quad (3.2.67)$$

где  $C_0 = C_{\text{Э}} - C_{\text{СХ}} = (170 - 16) \cdot 10^{-12} = 154 \text{ нФ}. \quad (3.2.68)$

Выбираем подстроечный конденсатор, так чтобы выполнялось условие

$$C_{П.СР} \leq C_1. \quad (3.2.69)$$

Берем конденсатор *КТ4-21Б* с параметрами:

$$C = 6 \dots 30 \text{ нФ}, C_{П.СР} = 18 \text{ нФ}.$$

Определяем емкость уравнительного конденсатора

$$C_{\text{У}} = C_1 - C_{П.СР} = (531 - 18) \cdot 10^{-12} = 514 \text{ нФ}. \quad (3.2.70)$$

Определяем максимальную и минимальную емкости контура

$$C'_{\text{МАКС}} = C_{\text{М}} + C_{П.СР} + C_{\text{У}} + C_{\text{МАКС}} = (8 + 18 + 514 + 495) \cdot 10^{-12} = 1035 \text{ нФ}, \quad (3.2.71)$$

$$C'_{\text{МИН}} = C_{\text{М}} + C_{П.СР} + C_{\text{У}} + C_{\text{МИН}} = (8 + 18 + 514 + 12) \cdot 10^{-12} = 551 \text{ нФ}, \quad (3.2.72)$$

$$C_{\text{К.МИН}} = \left( C_{\text{Л}} + \frac{C_2 \cdot C'_{\text{МИН}}}{C_2 + C'_{\text{МИН}}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{100,5 \cdot 10^{-12} \cdot 551 \cdot 10^{-12}}{(100,5 + 551) \cdot 10^{-12}} \right) = 93 \text{ нФ}, \quad (3.2.73)$$

$$C_{\text{К.МАКС}} = \left( C_{\text{Л}} + \frac{C_2 \cdot C'_{\text{МАКС}}}{C_2 + C'_{\text{МАКС}}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{100,5 \cdot 10^{-12} + 1035 \cdot 10^{-12}}{(100,5 + 1035) \cdot 10^{-12}} \right) = 100 \text{ нФ}. \quad (3.2.74)$$

### Для диапазона КВ5

Границы диапазона КВ5 с обеспечением производственного запаса

$$f'_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot f_{\text{МИН}} = 0,98 \cdot 11,7 \cdot 10^6 = 11,47 \cdot 10^6 \text{ Гц}, \quad (3.2.75)$$

$$f'_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot f_{\text{МАКС}} = 1,02 \cdot 11,98 \cdot 10^6 = 12,22 \cdot 10^6 \text{ Гц}. \quad (3.2.76)$$

Коэффициент перекрытия с учетом запаса

$$K_{П.З} = \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f'_{\text{МИН}}} = \frac{12,22 \cdot 10^6}{11,47 \cdot 10^6} = 1,065. \quad (3.2.77)$$

Определяем вспомогательный коэффициент

$$T = \frac{\Delta C \cdot (K_{П.З}^2 \cdot C_{\mathcal{E}} - C_{CX}) \cdot (C_{\mathcal{E}} - C_{CX})}{C_{\mathcal{E}} \cdot (K_{П.З}^2 - 1)} =$$

$$= \frac{483 \cdot 10^{-12} \cdot (1,065^2 \cdot 170 \cdot 10^{-12} - 16 \cdot 10^{-12}) \cdot (170 - 16) \cdot 10^{-12}}{170 \cdot 10^{-12} \cdot (1,065^2 - 1)} = 5,764 \cdot 10^{-19} \quad (3.2.78)$$

где  $\Delta C = C_{МАКС} - C_{МИН} = 495 \cdot 10^{-12} - 12 \cdot 10^{-12} = 483 \text{ нФ}.$  (3.2.79)

Определим дополнительные емкости

$$C_1 = \sqrt{\frac{\Delta C^2}{4} + T} - \frac{\Delta C}{2} = \sqrt{\frac{(483 \cdot 10^{-12})^2}{4} + 576400 \cdot 10^{-24}} - \frac{483 \cdot 10^{-12}}{2} = 555 \text{ нФ}, \quad (3.2.80)$$

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_0}{C_1 - C_0} = \frac{555 \cdot 10^{-12} \cdot 154 \cdot 10^{-12}}{555 \cdot 10^{-12} - 154 \cdot 10^{-12}} = 213 \text{ нФ}, \quad (3.2.81)$$

где  $C_0 = C_{\mathcal{E}} - C_{CX} = (170 - 16) \cdot 10^{-12} = 154 \text{ нФ}.$  (3.2.82)

Выбираем подстроечный конденсатор, так чтобы выполнялось условие

$$C_{П.СР} \leq C_1. \quad (3.2.83)$$

Берем конденсатор *КТ4-21Б* с параметрами:

$$C = 6 \dots 30 \text{ нФ}, C_{П.СР} = 18 \text{ нФ}.$$

Определяем емкость уравнительного конденсатора

$$C_Y = C_1 - C_{П.СР} = (555 - 18) \cdot 10^{-12} = 538 \text{ нФ}. \quad (3.2.84)$$

Определяем максимальную и минимальную емкости контура

$$C'_{МАКС} = C_M + C_{П.СР} + C_Y + C_{МАКС} = (8 + 18 + 538 + 495) \cdot 10^{-12} = 1058 \text{ нФ}, \quad (3.2.85)$$

$$C'_{МИН} = C_M + C_{П.СР} + C_Y + C_{МИН} = (8 + 18 + 538 + 12) \cdot 10^{-12} = 575 \text{ нФ}, \quad (3.2.86)$$

$$C_{К.МИН} = \left( C_L + \frac{C_2 \cdot C'_{МИН}}{C_2 + C'_{МИН}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{302 \cdot 10^{-12} \cdot 575 \cdot 10^{-12}}{(302 + 575) \cdot 10^{-12}} \right) = 206 \text{ нФ}, \quad (3.2.87)$$

$$C_{К.МАКС} = \left( C_L + \frac{C_2 \cdot C'_{МАКС}}{C_2 + C'_{МАКС}} \right) = \left( 8 \cdot 10^{-12} + \frac{302 \cdot 10^{-12} \cdot 1058 \cdot 10^{-12}}{(302 + 1058) \cdot 10^{-12}} \right) = 243 \text{ нФ}. \quad (3.2.88)$$

### 3.3. Распределение заданной неравномерности усиления в полосе пропускания

В соответствии с ГОСТ 5651-82 неравномерность по звуковому давлению в номинальном диапазоне воспроизводимых частот не должна превышать 14дБ в диапазоне СВ и 18дБ в диапазоне ДВ.

С учетом производственного запаса 2...3 дБ, допустимая неравномерность АМ тракта (ослабление на краях полосы) составляет 11...12 дБ в диапазоне СВ и 15...16 дБ в диапазоне ДВ. Это ослабление распределяем между трактом радиочастоты (РЧ), трактом промежуточной частоты (ПЧ) и детектором АМ сигнала. Распределение ослабления на краях полосы пропускания приведено в таблице 3.3.2.

Диапазон	Ослабление на краях полосы, дБ
----------	--------------------------------

	Всего тракта	Тракта РЧ	Тракта ПЧ	Детектора
ДВ	15	8	7	1
СВ	11	3	7	1
КВ	12	2	7	1

### 3.4. Определение добротности и числа контуров тракта радиочастоты

Расчет ведется отдельно на диапазонах ДВ, СВ, КВ1..5, УКВ. Исходными данными к расчету являются избирательность по зеркальному каналу  $\sigma_{з.к}$  и ослабление на краях полосы пропускания тракта РЧ  $\sigma_{П}$  (табл.3.3.2).

Расчёт диапазона ДВ.

$$\sigma_{з.к} = 60\text{дБ} = 1000\text{раз},$$

$$\sigma_{П} = 8\text{дБ} = 2.51\text{раза}.$$

Выбираем одноконтурную ВЦ с индуктивной связью с антенной и резонансный УРС. Тогда число контуров  $n=2$ .

Определяем максимально допустимую добротность контуров, обеспечивающую заданное ослабление на краях полосы  $\sigma_{П}$ :

$$Q_{П} = \frac{f'_{\text{МИН}}}{\Pi} \cdot \sqrt[n]{\sigma_{П}^2 - 1} = \frac{145 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt[2]{2.51^2 - 1} = 17,8. \quad (3.4.89)$$

Определяем минимальную допустимую добротность, обеспечивающую заданную избирательность по зеркальному каналу

$$Q_u = \frac{\sigma_{з.к}}{\chi_{з.к}^2 - 1} = \frac{\sqrt[n]{\sigma_{з.к} \cdot \chi_{з.к}^{n-1}}}{\chi_{з.к}^2 - 1} = \frac{\sqrt[2]{1000 \cdot 5,65}}{(5,65^2 - 1)} = 2,43, \quad (3.4.90)$$

$$\text{где } \chi_{з.к} = \frac{f_{зк}^*}{f^*} = \frac{f^* + 2 \cdot f_{ПЧ}}{f^*} = \frac{200 \cdot 10^3 + 2 \cdot 465 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^3} = 5,65, \quad (3.4.91)$$

$$f^* = 200\text{кГц} \quad \text{для диапазона ДВ.}$$

Эквивалентная добротность контура  $Q_{\text{э}}$  должна удовлетворять условиям:

$$Q_{\text{э}} < Q_{П}, \quad Q_{\text{э}} > Q_n, \quad Q_{\text{э}} \leq Q_{\text{ЭК}} = \psi \cdot Q_k = 0,6 \cdot 100 = 60. \quad (3.4.92)$$

Выбираем  $Q_{\text{э}} = 13$ .

$$Q_{\text{э},f_{\text{МИН}}} = \left[ \frac{1}{Q_k} + \left( \frac{1}{Q_{\text{э}}^*} - \frac{1}{Q_k} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МИН}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{100} + \left( \frac{1}{13} - \frac{1}{100} \right) \cdot \frac{145}{200} \right]^{-1} = 17,1 \quad (3.4.93)$$

Поскольку  $Q_{\text{э},f_{\text{МИН}}} = 17,1 < Q_{П} = 17,8$ , то расчет произведен правильно.

Для выбранных  $n$  и  $Q_{\text{э}}^*$  в худших точках диапазона производим контрольный расчет показателей

$$\sigma_{\Pi} = \left[ 1 + \left( \frac{\Pi \cdot Q_{\Delta, f_{\text{МИН}}}}{f'_{\text{МИН}}} \right)^2 \right]^{n/2} = \left[ 1 + \left( \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 17,1}{145 \cdot 10^3} \right)^2 \right] = 2,39 \text{ раза} = 7,57 \text{ дБ} \quad (3.4.94)$$

$$\sigma_{\text{СК}} = \left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot \Delta f_{\text{СК}} \cdot Q_{\Delta, f_{\text{МАКС}}}}{f'_{\text{МАКС}}} \right)^2 \right]^{n/2} = \left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^3 \cdot 9,34}{290,7 \cdot 10^3} \right)^2 \right] = 1,33 \text{ раза} = 2,5 \text{ дБ} \quad (3.4.95)$$

где  $Q_{\Delta, f_{\text{МАКС}}} = \left[ \frac{1}{Q_{\text{К}}} - \left( \frac{1}{Q_{\Delta}^*} - \frac{1}{Q_{\text{К}}} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{100} + \left( \frac{1}{13} - \frac{1}{100} \right) \cdot \frac{290,7}{200} \right]^{-1} = 9,34 \quad (3.4.96)$

$$\sigma_{3, \text{К}} = \frac{(\chi_{3, \text{К}}^2 - 1)^n}{\chi_{3, \text{К}}^{n-1}} \cdot Q^{*n} = \frac{(5,65^2 - 1)^2}{5,65} \cdot 13^2 = 28601,4 \text{ раза} = 89,12 \text{ дБ} \quad (3.4.97)$$

$$\sigma_{\text{ПЧ}} = \frac{|\chi_{\text{ПЧ}}^2 - 1|^n}{\chi_{\text{ПЧ}}^{n-1}} \cdot Q^{**n} = \frac{|1,66^2 - 1|^2}{1,66} \cdot 9,34^2 = 161,96 \text{ раза} = 44,2 \text{ дБ} \quad (3.4.98)$$

$$\chi_{\text{ПЧ}} = \frac{f_{\text{ПЧ}}}{f^{**}} = \frac{465 \cdot 10^3}{280 \cdot 10^3} = 1,66, \text{ при } Q^{**} = Q_{\Delta, f_{\text{МАКС}}} \quad (3.4.99)$$

**По вышеописанной методике осуществим предварительный расчет для диапазона СВ.**

$$\sigma_{3, \text{К}} = 60 \text{ дБ} = 1000 \text{ раза},$$

$$\sigma_{\Pi} = 3 \text{ дБ} = 1,41 \text{ раза}.$$

$$Q_{\Pi} = \frac{f'_{\text{МИН}}}{\Pi} \cdot \sqrt[n]{\sqrt{\sigma_{\Pi}^2} - 1} = \frac{514,5 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt[3]{\sqrt{1,41^2} - 1} = 32,9 \quad (3.4.100)$$

Определяем минимальную допустимую добротность, обеспечивающую заданную избирательность по зеркальному каналу

$$Q_u = \frac{\sigma_{3, \text{К}}}{\chi_{3, \text{К}}^2 - 1} = \frac{\sigma_{3, \text{К}}}{\chi_{3, \text{К}}^2 - 1} = \frac{1000 \cdot 1,9}{(1,9^2 - 1)} = 16,7 \quad (3.4.101)$$

$$\text{где } \chi_{3, \text{К}} = \frac{f_{3, \text{К}}^*}{f^*} = \frac{f^* + 2 \cdot f_{\text{ПЧ}}}{f^*} = \frac{1000 \cdot 10^3 + 2 \cdot 465 \cdot 10^3}{1000 \cdot 10^3} = 1,9 \quad (3.4.102)$$

$$f^* = 1000 \text{ кГц} \quad \text{для диапазона СВ.}$$

Эквивалентная добротность контура  $Q_{\Delta}$  должна удовлетворять условиям:

$$Q_{\Delta} < Q_{\Pi}, \quad Q_{\Delta} > Q_n, \quad Q_{\Delta} \leq Q_{\Delta \text{К}} = \psi \cdot Q_{\text{К}} = 0,6 \cdot 120 = 72 \quad (3.4.103)$$

Выбираем  $Q_{\Delta} = 18$ .

$$Q_{\Delta, f_{\text{МИН}}} = \left[ \frac{1}{Q_{\text{К}}} + \left( \frac{1}{Q_{\Delta}^*} - \frac{1}{Q_{\text{К}}} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МИН}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{120} + \left( \frac{1}{18} - \frac{1}{120} \right) \cdot \frac{514,5}{1000} \right]^{-1} = 30,9 \quad (3.4.104)$$

Поскольку  $Q_{\Delta, f_{\text{МИН}}} = 30,9 < Q_{\Pi} = 32,9$ , то расчет произведен правильно.

Для выбранных  $n$  и  $Q_3^*$  в худших точках диапазона производим контрольный расчет показателей

$$(3.4.105) \quad \sigma_{\Pi} = \left[ 1 + \left( \frac{\Pi \cdot Q_{\Delta, f_{\text{МИН}}}}{f'_{\text{МИН}}} \right)^2 \right]^{n/2} = \left[ 1 + \left( \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 30,9}{514,5 \cdot 10^3} \right)^2 \right] = 1,36 \text{ раза} = 2,67 \text{ дБ}$$

$$(3.4.106) \quad \sigma_{\text{СК}} = \left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot \Delta f_{\text{СК}} \cdot Q_{\Delta, f_{\text{МАКС}}}}{f'_{\text{МАКС}}} \right)^2 \right]^{n/2} = \left[ 1 + \left( \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^3 \cdot 11,79}{1639 \cdot 10^3} \right)^2 \right] = 1,0167 \text{ раза} = 0,14 \text{ дБ}$$

$$(3.4.107) \quad \text{где } Q_{\Delta, f_{\text{МАКС}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{120} + \left( \frac{1}{18} - \frac{1}{120} \right) \cdot \frac{1639}{1000} \right]^{-1} = 11,79$$

$$(3.4.108) \quad \sigma_{3,K} = \frac{(\chi_{3,K}^2 - 1)^n}{\chi_{3,K}^{n-1}} \cdot Q^{*n} = \frac{(1,9^2 - 1)^2}{1,9} \cdot 18^2 = 1161,64 \text{ раза} = 61 \text{ дБ}$$

$$(3.4.109) \quad \sigma_{\text{ПЧ}} = \frac{|\chi_{\text{ПЧ}}^2 - 1|^n}{\chi_{\text{ПЧ}}^{n-1}} \cdot Q^{**n} = \frac{|0,83^2 - 1|^2}{0,83} \cdot 30,9^2 = 111,35 \text{ раза} = 40,9 \text{ дБ}$$

$$(3.4.110) \quad \chi_{\text{ПЧ}} = \frac{f_{\text{ПЧ}}}{f^{**}} = \frac{465 \cdot 10^3}{560 \cdot 10^3} = 0,83, \text{ при } Q^{**} = Q_{\Delta, f_{\text{МИН}}}$$

**Аналогичный расчет произведем для диапазона КВ1.**

$$\sigma_{3,K} = 30 \text{ дБ} = 31,62 \text{ раза}$$

$$\sigma_{\Pi} = 3 \text{ дБ} = 1,41 \text{ раза}$$

$$(3.4.111) \quad Q_{\Pi} = \frac{f'_{\text{МИН}}}{\Pi} \cdot \sqrt[n]{\sigma_{\Pi}^2 - 1} = \frac{3871 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt[3]{1,41^2 - 1} = 248,6$$

Определяем минимальную допустимую добротность, обеспечивающую заданную избирательность по зеркальному каналу

$$(3.4.112) \quad Q_n = \frac{\sqrt[n]{\sigma_{3,K} \cdot \chi_{3,K}^{n+1}}}{\chi_{3,K}^2 - 1} = \frac{\sqrt[3]{31,62 \cdot (1,187)^3}}{(1,187^2 - 1)} = 16,32,$$

$$(3.4.113) \quad \text{где } \chi_{3,K} = \frac{f_{3K}^*}{f^*} = \frac{4975 \cdot 10^3 + 2 \cdot 465 \cdot 10^3}{4,975 \cdot 10^6} = 1,187,$$

$$f^* = 4975 \text{ кГц} \text{ для диапазона КВ1.}$$

Эквивалентная добротность контура  $Q_3$  должна удовлетворять условиям:

$$(3.4.114) \quad Q_3 < Q_{\Pi}, \quad Q_3 > Q_n, \quad Q_3 \leq Q_{\text{ЭК}} = \psi \cdot Q_K = 0,5 \cdot 160 = 80.$$

Выбираем  $Q_3 = 40$ .

$$(3.4.115) \quad Q_{\Delta, f_{\text{МИН}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МИН}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{3871}{4975} \right]^{-1} = 48$$

Для выбранных  $n$  и  $Q_3^*$  в худших точках диапазона производим контрольный расчет показателей

$$\sigma_{3.K} = \frac{(\chi_{3.K}^2 - 1)^n}{\chi_{3.K}^{n+1}} \cdot Q^{*n} = \frac{(1,187^2 - 1)^2}{1,187^3} \cdot 40^2 = 160 \text{ раз} = 44,1 \text{ дБ}. \quad (3.4.116)$$

$$Q_{\mathcal{Q}, f_{\text{МАКС}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{6120}{4975} \right]^{-1} = 34$$

$$\sigma_{\text{ПЧ}} = \frac{|\chi_{\text{ПЧ}}^2 - 1|^n}{\chi_{\text{ПЧ}}^{n+1}} \cdot Q^{**n} = \frac{|0,12^2 - 1|^2}{0,12^3} \cdot 34^2 = 645048 \text{ раза} = 116,191 \text{ дБ}$$

**Аналогичный расчет произведем для диапазона КВ2**

$$\sigma_{3.K} = 30 \text{ дБ} = 31,62 \text{ раза}$$

$$\sigma_{\text{П}} = 3 \text{ дБ} = 1,41 \text{ раза}$$

$$Q_{\text{П}} = \frac{f'_{\text{МИН}}}{\text{П}} \cdot \sqrt[n]{\sqrt{\sigma_{\text{П}}^2} - 1} = \frac{5880 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{\sqrt{1,41^2} - 1} = 376,5 \quad (3.4.117)$$

Определяем минимальную допустимую добротность, обеспечивающую заданную избирательность по зеркальному каналу

$$Q_n = \frac{\sigma_{3.K}}{\chi_{3.K}^2 - 1} = \frac{\sqrt[n]{\sigma_{3.K} \cdot \chi_{3.K}^{n+1}}}{\chi_{3.K}^2 - 1} = \frac{\sqrt{31,62 \cdot (1,15)^3}}{(1,15^2 - 1)} = 20,05 \quad (3.4.118)$$

$$\text{где } \chi_{3.K} = \frac{f_{3K}^*}{f^*} = \frac{6102 \cdot 10^3 + 2 \cdot 465 \cdot 10^3}{6,102 \cdot 10^6} = 1,15 \quad (3.4.119)$$

$$f^* = 6102 \text{ кГц} \text{ для диапазона КВ2.}$$

Эквивалентная добротность контура  $Q_3$  должна удовлетворять условиям:

$$Q_3 < Q_{\text{П}}, \quad Q_3 > Q_n, \quad Q_3 \leq Q_{\text{ЭК}} = \psi \cdot Q_K = 0,5 \cdot 160 = 80. \quad (3.4.120)$$

Выбираем  $Q_3 = 40$ .

$$Q_{\mathcal{Q}, f_{\text{МИН}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МИН}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{5880}{6102} \right]^{-1} = 41,12. \quad (3.4.121)$$

Для выбранных  $n$  и  $Q_3^*$  в худших точках диапазона производим контрольный расчет показателей

$$\sigma_{3.K} = \frac{(\chi_{3.K}^2 - 1)^n}{\chi_{3.K}^{n+1}} \cdot Q^{*n} = \frac{(1,15^2 - 1)^2}{1,15^3} \cdot 40^2 = 109,41 \text{ раз} = 40,78 \text{ дБ}. \quad (3.4.122)$$

$$Q_{\mathcal{Q}, f_{\text{МАКС}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{6324}{6102} \right]^{-1} = 39$$

**Аналогичный расчет произведем для диапазона КВ3.**

$$\sigma_{3.K} = 30\text{дБ} = 31,62 \text{ раза}$$

$$\sigma_{\Pi} = 3\text{дБ} = 1,41 \text{ раза}$$

$$Q_{\Pi} = \frac{f'_{\text{МИН}}}{\Pi} \cdot \sqrt[n]{\sqrt{\sigma_{\Pi}^2} - 1} = \frac{7070 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{\sqrt{1,41^2} - 1} = 452,7. \quad (3.4.123)$$

Определяем минимальную допустимую добротность, обеспечивающую заданную избирательность по зеркальному каналу

$$Q_n = \frac{\sigma_{3.K}}{\chi_{3.K}^2 - 1} = \frac{\sqrt[n]{\sigma_{3.K} \cdot \chi_{3.K}^{n+1}}}{\chi_{3.K}^2 - 1} = \frac{\sqrt{31,62 \cdot (1,13)^3}}{(1,13^2 - 1)} = 22,95, \quad (3.4.124)$$

$$\text{где } \chi_{3.K} = \frac{f_{3K}^*}{f^*} = \frac{7255 \cdot 10^3 + 2 \cdot 465 \cdot 10^3}{7,255 \cdot 10^6} = 1,13, \quad (3.4.125)$$

$$f^* = 7255 \text{кГц} \text{ для диапазона КВ3.}$$

Эквивалентная добротность контура  $Q_{\text{э}}$  должна удовлетворять условиям:

$$Q_{\text{э}} < Q_{\Pi}, \quad Q_{\text{э}} > Q_n, \quad Q_{\text{э}} \leq Q_{\text{ЭК}} = \psi \cdot Q_K = 0,5 \cdot 160 = 80. \quad (3.4.126)$$

Выбираем  $Q_{\text{э}} = 40$ .

$$Q_{\text{э},f_{\text{МИН}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_{\text{э}}^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МИН}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{7070}{7255} \right]^{-1} = 40,77. \quad (3.4.127)$$

Для выбранных  $n$  и  $Q_{\text{э}}^*$  в худших точках диапазона производим

контрольный расчет показателей

$$\sigma_{3.K} = \frac{(\chi_{3.K}^2 - 1)^n}{\chi_{3.K}^{n+1}} \cdot Q_n^* = \frac{(1,13^2 - 1)^2}{1,13^3} \cdot 40^2 = 85,02 \text{ раз} = 38,59 \text{дБ}. \quad (3.4.128)$$

$$Q_{\text{э},f_{\text{МАКС}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_{\text{э}}^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{7446}{7225} \right]^{-1} = 39,1$$

**Аналогичный расчет произведем для диапазона КВ4.**

$$\sigma_{3.K} = 30\text{дБ} = 31,62 \text{ раза}$$

$$\sigma_{\Pi} = 3\text{дБ} = 1,41 \text{ раза}$$

$$Q_{\Pi} = \frac{f'_{\text{МИН}}}{\Pi} \cdot \sqrt[n]{\sqrt{\sigma_{\Pi}^2} - 1} = \frac{9310 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{\sqrt{1,41^2} - 1} = 596,1. \quad (3.4.129)$$

Определяем минимальную допустимую добротность, обеспечивающую заданную избирательность по зеркальному каналу

$$Q_n = \frac{\sigma_{3.K}}{\chi_{3.K}^2 - 1} = \frac{\sqrt[n]{\sigma_{3.K} \cdot \chi_{3.K}^{n+1}}}{\chi_{3.K}^2 - 1} = \frac{\sqrt{31,62 \cdot (1,1)^3}}{(1,1^2 - 1)} = 29,45, \quad (3.4.130)$$

$$\text{где } \chi_{3.K} = \frac{f_{3K}^*}{f^*} = \frac{9640 \cdot 10^3 + 2 \cdot 465 \cdot 10^3}{9640 \cdot 10^6} = 1,1, \quad (3.4.131)$$

$$f^* = 9640 \text{ кГц} \text{ для диапазона КВ4.}$$

Эквивалентная добротность контура  $Q_3$  должна удовлетворять условиям:

$$Q_3 < Q_{\Pi} , \quad Q_3 > Q_n , \quad Q_3 \leq Q_{3K} = \psi \cdot Q_K = 0,5 \cdot 160 = 80. \quad (3.4.132)$$

Выбираем  $Q_3 = 40$ .

$$Q_{3, f_{\text{МИН}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МИН}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{9310}{9640} \right]^{-1} = 41,05. \quad (3.4.133)$$

Для выбранных  $n$  и  $Q_3^*$  в худших точках диапазона производим

контрольный расчет показателей

$$\sigma_{3,K} = \frac{(\chi_{3,K}^2 - 1)^n}{\chi_{3,K}^{n+1}} \cdot Q^{*n} = \frac{(1,1^2 - 1)^2}{1,1^3} \cdot 40^2 = 51,59 \text{ раз} = 34,25 \text{ дБ}. \quad (3.4.134)$$

$$Q_{3, f_{\text{МАКС}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} - \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МАКС}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{9970}{9640} \right]^{-1} = 38,9$$

**Аналогичный расчет произведем для диапазона КВ5.**

$$\sigma_{3,K} = 30 \text{ дБ} = 31,62 \text{ раза}$$

$$\sigma_{\Pi} = 3 \text{ дБ} = 1,41 \text{ раза}$$

$$Q_{\Pi} = \frac{f'_{\text{МИН}}}{\Pi} \cdot \sqrt[n]{\sqrt{\sigma_{\Pi}^2} - 1} = \frac{11470 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} \cdot \sqrt[3]{\sqrt{1,41^2} - 1} = 751,7 \quad (3.4.135)$$

Определяем минимальную допустимую добротность, обеспечивающую заданную избирательность по зеркальному каналу

$$Q_n = \frac{\sigma_{3,K}}{\chi_{3,K}^2 - 1} = \frac{\sqrt[n]{\sigma_{3,K} \cdot \chi_{3,K}^{n+1}}}{(1,08^2 - 1)} = \frac{\sqrt[3]{31,62 \cdot (1,08)^3}}{(1,08^2 - 1)} = 36,5, \quad (3.4.136)$$

$$\text{где } \chi_{3,K} = \frac{f'_{3K}}{f^*} = \frac{1180 \cdot 10^3 + 2 \cdot 465 \cdot 10^3}{11800 \cdot 10^3} = 1,08, \quad (3.4.137)$$

$$f^* = 11800 \text{ кГц} \text{ для диапазона КВ5.}$$

Эквивалентная добротность контура  $Q_3$  должна удовлетворять условиям:

$$Q_3 < Q_{\Pi} , \quad Q_3 > Q_n , \quad Q_3 \leq Q_{3K} = \psi \cdot Q_K = 0,5 \cdot 160 = 80. \quad (3.4.138)$$

Выбираем  $Q_3 = 40$ .

$$Q_{3, f_{\text{МИН}}} = \left[ \frac{1}{Q_K} + \left( \frac{1}{Q_3^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{\text{МИН}}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{11470}{11800} \right]^{-1} = 40,86. \quad (3.4.139)$$

Для выбранных  $n$  и  $Q_3^*$  в худших точках диапазона производим

контрольный расчет показателей

$$\sigma_{3,K} = \frac{(\chi_{3,K}^2 - 1)^n}{\chi_{3,K}^{n+1}} \cdot Q^{*n} = \frac{(1,08^2 - 1)^2}{1,08^3} \cdot 40^2 = 40,86 \text{ раз} = 32,23 \text{ дБ}. \quad (3.4.140)$$

$$Q_{\Delta, f_{МАКС}} = \left[ \frac{1}{Q_K} - \left( \frac{1}{Q_{\Delta}^*} - \frac{1}{Q_K} \right) \cdot \frac{f'_{МАКС}}{f^*} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{160} + \left( \frac{1}{40} - \frac{1}{160} \right) \cdot \frac{12220}{11800} \right]^{-1} = 38,96$$

### 3.5. Проектирование избирательной системы тракта промежуточной частоты

Избирательную систему тракта промежуточной частоты построим при помощи пьезокерамического фильтра (ПКФ), который при небольших габаритах и массе обеспечивает высокую избирательность по соседнему каналу. Выберем из таблицы 3.3 [1] стандартный ПКФ – ПФ1П-2. Он имеет следующие параметры:

- полоса пропускания на уровне  $-6\text{дБ}$  –  $8,5...12,5 \text{ КГц}$ ;
- избирательность при расстройке  $\pm 9 \text{ кГц}$  –  $40 \text{ дБ}$ ;
- коэффициент передачи ПКФ на средней частоте полосы пропускания, не менее  $-8 \text{ дБ}$ ;
- сопротивление источника сигнала  $R_r = 1,2 \text{ кОм}$ ;
- сопротивление нагрузки  $R_H = 0,6 \text{ кОм}$ ;
- неравномерность коэффициента передачи в полосе пропускания не превышает  $2 \text{ дБ}$ .

Но этот фильтр не обеспечивает в полной мере требуемую избирательность по соседнему каналу. Недостающую избирательность сформируем при помощи добавления двух настроенных каскадов. Сделаем их более широкополосными

$$\Pi_{PE3} = 1,2 \cdot \Pi = 1,2 \cdot 10 \cdot 10^3 = 12 \text{ кГц} . \quad (3.5.141)$$

С учетом допустимого подавления полосы сигнала на  $8\text{дБ}$ , и ослабления ПКФ на краях полосы на  $6\text{дБ}$  выбираем для заданного значения  $\sigma_{з.к} = 1,26 \text{ раз} = 2\text{дБ}$  значение обобщенной расстройки на краях полосы пропускания  $\xi = 0,56$ . Вычисляем необходимую добротность.

$$Q_{\Delta} = \frac{\xi_{\Pi} \cdot f_{ПЧ}}{\Pi_{PE3}} = \frac{0,56 \cdot 465 \cdot 10^3}{12 \cdot 10^3} = 22, \quad (3.5.142)$$

$$\psi \cdot Q_K = 0,5 \cdot 160 = 80.$$

Так как  $Q_{\Delta} < \psi \cdot Q_K$  то принимаем  $Q_{\Delta} = \psi \cdot Q_K = 22$ .

$$\xi_{СК} = \frac{2 \cdot \Delta f \cdot Q_{\Delta}}{f_{ПЧ}} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 22}{465 \cdot 10^3} = 0,95 \quad (3.5.143)$$

Тогда по графику определяем избирательность по соседнему каналу  $\sigma_{ск} \approx 18\text{дБ}$ .

### 3.6. Определение числа каскадов АМ тракта

Первоначально определим тип детектора. Используем последовательный диодный детектор с предварительным смещением. Методика определения параметров такого детектора следующая:

- задаемся величиной входного сопротивления тракта НЧ

$$R_{BX.HЧ} = 200 \text{кОм};$$

- задаемся величиной сопротивления нагрузки детектора по постоянному току  $R_H = 20 \text{кОм}$ ;

- номинальное сопротивление нагрузки  $R_{BX.M} = 47 \text{кОм}$ ;

Так как  $R_H = 20 \text{кОм} > \frac{R_{BX.M}}{9} = \frac{47 \text{кОм}}{9} = 5,2 \text{кОм}$ , то необходимо разделить нагрузку. Для этого определим коэффициент передачи разделенной нагрузки

$$K_{PH} = \sqrt{\frac{R_{BX}}{9 \cdot R_H}} = \sqrt{\frac{47 \cdot 10^3}{9 \cdot 20 \cdot 10^3}} = 0,26. \quad (3.6.144)$$

Определим верхнее  $R_1$  и нижнее  $R_2$  сопротивления разделенной нагрузки:

$$R_1 = (1 - K_{PH}) \cdot R_H = (1 - 0,26) \cdot 20 \cdot 10^3 = 14,8 \text{кОм}, \quad (3.6.145)$$

$$R_2 = (K_{PH}) \cdot R_H = (0,26) \cdot 20 \cdot 10^3 = 5,2 \text{кОм}. \quad (3.6.146)$$

Определим действующее выходное напряжение детектора

$$U_{ВЫХ.Д} = m \cdot U_{ВХ.Д.МИН} \cdot K_D \cdot K_{PH} = 0,3 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,26 = 0,038 \text{В}, \quad (3.6.147)$$

где  $U_{ВХ.Д.МИН} = 0,4 \dots 0,7 \text{В}$  для кремниевых транзисторов.

Определим требуемое усиление до детектора. Поскольку прием осуществляется на наружную антенну, то требуемое усиление рассчитывается по формуле

$$K_T = \frac{U_{ВХ.Д.МИН}}{U_{ВХ}} \cdot 10^6, \quad U_{вх} = E \cdot h_0 \cdot Q_0 \cdot m \quad (3.6.148)$$

### ДВ диапазон

Определяем напряжение на входе первого каскада РВП, мВ:

$$U_{вх} = E \cdot h_0 \cdot Q_0 \cdot m = 1 \cdot 0,01 \cdot 13 \cdot 0,169 = 0,022, \text{ где } h_0 = 0,01$$

где  $E$  – чувствительность по полю, мВ/м;  $h_0$  – действующая высота встроенной антенны, м;  $Q_0$  – эквивалентная добротность контура ВЦ;  $m$  – коэффициент включения первого усилительного прибора в контур ВЦ.

$$m = \sqrt{\frac{(Q_k - Q_{эф\max}) \cdot R_{вх} \cdot C_{к.мин} \cdot f'_{\max}}{159 \cdot Q_k \cdot Q_{эф\max}}} = \sqrt{\frac{(100 - 9,34) \cdot 1 \cdot 161 \cdot 0,2907}{159 \cdot 100 \cdot 9,34}} = 0,169$$

$$K_T = \frac{U_{ВХ.Д.МИН}}{U_{вх}} = \frac{0,5}{0,022} \cdot 10^3 = 22727$$

Требуемое усиление на всех диапазонах увеличивается с целью обеспечения производственного запаса

$$K'_T = (1,4 \dots 2) \cdot K_T = 1,7 \cdot 22727 = 38636. \quad (3.6.70)$$

### СВ диапазон

Определяем напряжение на входе первого каскада РВП, мВ:

$$U_{вх} = E \cdot h_0 \cdot Q_0 \cdot m = 0,5 \cdot 0,01 \cdot 18 \cdot 0,192 = 0,01728, \text{ где } h_0 = 0,01$$

где  $E$  – чувствительность по полю, мВ/м;  $h_0$  – действующая высота встроенной антенны, м;  $Q_3$  – эквивалентная добротность контура ВЦ;  $m$  – коэффициент включения первого усилительного прибора в контур ВЦ.

$$m = \sqrt{\frac{(Q_{\kappa} - Q_{3f \max}) \cdot R_{\text{ex}} \cdot C_{\kappa, \min} \cdot f'_{\max}}{159 \cdot Q_{\kappa} \cdot Q_{3f \max}}} = \sqrt{\frac{(120 - 13,05) \cdot 1 \cdot 52,3 \cdot 1,639}{159 \cdot 120 \cdot 13,05}} = 0,192$$

$$K_T = \frac{U_{\text{ВХ.Д.МИН}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0,5}{0,01728} \cdot 10^3 = 28935$$

Требуемое усиление на всех диапазонах увеличивается с целью обеспечения производственного запаса

$$K'_T = (1,4 \dots 2) \cdot K_T = 1,7 \cdot 28935 = 49190.$$

### **КВ1 диапазон**

$$m = \sqrt{\frac{(Q_{\kappa} - Q_{3f \max}) \cdot R_{\text{ex}} \cdot C_{\kappa, \min} \cdot f'_{\max}}{159 \cdot Q_{\kappa} \cdot Q_{3f \max}}} = \sqrt{\frac{(160 - 34) \cdot 1 \cdot 66,7 \cdot 6,12}{159 \cdot 160 \cdot 34}} = 0,24$$

$$U_{\text{ex}} = E \cdot h_0 \cdot Q_3 \cdot m = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 40 \cdot 0,24 = 0,48$$

$$K_T = \frac{U_{\text{ВХ.Д.МИН}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0,5}{0,48} \cdot 10^3 = 1042$$

$$K'_T = (1,4 \dots 2) \cdot K_T = 1,7 \cdot 1042 = 1771$$

### **КВ2 диапазон**

$$m = \sqrt{\frac{(Q_{\kappa} - Q_{3f \max}) \cdot R_{\text{ex}} \cdot C_{\kappa, \min} \cdot f'_{\max}}{159 \cdot Q_{\kappa} \cdot Q_{3f \max}}} = \sqrt{\frac{(160 - 39) \cdot 1 \cdot 163 \cdot 6,324}{159 \cdot 160 \cdot 39}} = 0,35$$

$$U_{\text{ex}} = E \cdot h_0 \cdot Q_3 \cdot m = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 40 \cdot 0,35 = 0,7$$

$$K_T = \frac{U_{\text{ВХ.Д.МИН}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0,5}{0,7} \cdot 10^3 = 714$$

$$K'_T = (1,4 \dots 2) \cdot K_T = 1,7 \cdot 714 = 1214$$

### **КВ3 диапазон**

$$m = \sqrt{\frac{(Q_{\kappa} - Q_{3f \max}) \cdot R_{\text{ex}} \cdot C_{\kappa, \min} \cdot f'_{\max}}{159 \cdot Q_{\kappa} \cdot Q_{3f \max}}} = \sqrt{\frac{(160 - 39,1) \cdot 1 \cdot 163 \cdot 7,446}{159 \cdot 160 \cdot 39,1}} = 0,38$$

$$U_{\text{ex}} = E \cdot h_0 \cdot Q_3 \cdot m = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 40 \cdot 0,38 = 0,76$$

$$K_T = \frac{U_{\text{ВХ.Д.МИН}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0,5}{0,76} \cdot 10^3 = 658$$

$$K'_T = (1,4 \dots 2) \cdot K_T = 1,4 \cdot 658 = 921$$

### **КВ4 диапазон**

$$m = \sqrt{\frac{(Q_{\kappa} - Q_{3f \max}) \cdot R_{\text{ex}} \cdot C_{\kappa, \min} \cdot f'_{\max}}{159 \cdot Q_{\kappa} \cdot Q_{3f \max}}} = \sqrt{\frac{(160 - 38,9) \cdot 1 \cdot 163 \cdot 9,97}{159 \cdot 160 \cdot 38,9}} = 0,45$$

$$U_{\text{ex}} = E \cdot h_0 \cdot Q_3 \cdot m = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 40 \cdot 0,45 = 0,9$$

$$K_T = \frac{U_{ВХ.Д.МИН}}{U_{вх}} = \frac{0,5}{0,9} \cdot 10^3 = 555$$

$$K'_T = (1,4 \dots 2) \cdot K_T = 1,7 \cdot 555 = 944$$

**КВ5 диапазон**

$$m = \sqrt{\frac{(Q_k - Q_{zf \max}) \cdot R_{вх} \cdot C_{к. \min} \cdot f'_{\max}}{159 \cdot Q_k \cdot Q_{zf \max}}} = \sqrt{\frac{(160 - 38,96) \cdot 2 \cdot 163 \cdot 12,12}{159 \cdot 160 \cdot 38,96}} = 0,69$$

$$U_{вх} = E \cdot h_o \cdot Q_o \cdot m = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 40 \cdot 0,69 = 1,38$$

$$K_T = \frac{U_{ВХ.Д.МИН}}{U_{вх}} = \frac{0,5}{1,38} \cdot 10^3 = 362$$

$$K'_T = (1,4 \dots 2) \cdot K_T = 1,7 \cdot 362 = 616$$

Наибольший требуемый коэффициент усиления будет в диапазоне ДВ и СВ, его и примем для расчета числа каскадов.

Требуемое усиление на всех диапазонах увеличивается с целью обеспечения производственного запаса

$$K'_T = 44271 \quad (3.6.150)$$

Определим количество каскадов тракта УПЧ.

Максимальный устойчивый коэффициент усиления:

$$K_{уст} = 6,3 \sqrt{\frac{Y_{21}}{f_{нч} C_{кб}}} = 6,3 \sqrt{\frac{38}{0,465 \cdot 7}} = 21,5$$

где  $Y_{21}$  - крутизна транзистора на ПЧ, мА/В;

$f_{нч}$  - промежуточная частота в МГц;

$C_{кб}$  - емкость коллектор-база, пФ.

Расчеты приведены для транзистора КТ315Б.

Наибольший достижимый коэффициент усиления каскада в режиме согласования по мощности:

$$K_0 = \frac{Y_{21}(1 - \Psi)}{2\sqrt{G_{11}G_{22}}} = \frac{38(1 - 0,5)}{2\sqrt{0,38 \cdot 0,00028}} = 950.$$

$$K_0 > K_y.$$

Коэффициент передачи преобразователя частоты:

$$K_{нч} = 0,1 K_{упч} = 2,15.$$

Тогда требуемое число каскадов УПЧ рассчитываем следующим образом:

$$n = \log_{K_y} \frac{K'_m}{K_{упч} K_{нч} K_{фси}} = \log_{21,5} \frac{44271}{10 \cdot 2,15 \cdot 0,4} = 2,71.$$

Число каскадов усиления тракта ПЧ примем равным 3.

### 3.7. Определение числа каскадов, охваченных схемой АРУ

Порядок определения числа каскадов, охваченных схемой АРУ следующий:

- выбираем изменение усиления, практически легко осуществимое в одном каскаде  $\lambda_1 = 8 \text{ раз}$  ;

- определяем требуемое изменение коэффициента усиления приемника под действием АРУ

$$\lambda_T = \frac{\alpha}{p} = \frac{1000}{2} = 500 \quad (3.7.153)$$

где  $\alpha = 60 \text{ дБ} = 1000 \text{ раза}$  ,

$p = 10 \text{ дБ} = 2 \text{ раза}$  .

Определяем необходимое число регулируемых каскадов

$$N_{APY} = \frac{\lg(\lambda_T)}{\lg(\lambda_1)} = \frac{\lg(500)}{\lg(8)} = 2,98 \approx 3. \quad (3.7.154)$$

### 3.8. Предварительное проектирование тракта низкой частоты

В качестве усилителя низкой частоты применим интегральную микросхему (ИМС) *K174УН14*, имеющую следующие параметры:

$U_{ПНТ} = \pm 9 \text{ В}$  ;  $P_{ВЫХ} = 3 \text{ Вт}$  ;  $K_{Г} = 0,1\%$  ;  $f_{Н} = 30 \text{ Гц}$  ;  $f_{В} = 20000 \text{ Гц}$  ;  $R_{Н} = 40 \text{ Ом}$  ;  
 $U_{ВХ} = 50 \text{ мВ}$  ,  $R_{ВХ} = 20 \text{ кОм}$  .

После детектора используем усилительный каскад на полевом транзисторе *КП307Д* с крутизной  $S = 10 \frac{\text{мА}}{\text{В}}$  . В этом каскаде с легкостью можно получить коэффициент усиления 10 раз. Между полевым транзистором и ИМС используем двухполосный пассивный регулятор тембра. Итак , при выходной мощности 3Вт нам необходимо на выходе детектора иметь амплитуду напряжения порядка 50 мВ. В результате предварительного расчета имеем  $U_{ВЫХ.Д} = 0,038 \text{ В}$  .

## 4. Электрический расчет диапазона СВ

### 4.1. Расчет контура входной цепи

Принципиальная схема входной цепи (магнитной антенны) представлена на рисунке 4.1

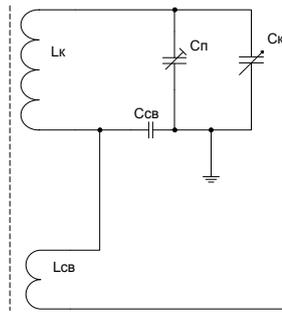


Рис.4.1. Схема входной цепи

Определяем индуктивность контура по формуле:

$$L = 2,53 \cdot 10^4 \cdot \frac{(K_{nd}^2 - 1)}{f'^2_{\max} \cdot (C_{k\max} - C_{k\min})} = 2,53 \cdot 10^4 \cdot \frac{(3,2^2 - 1)}{1,607^2 \cdot (535,3 - 52,3)} = 170 \text{ (мкГн)}, \quad (4.1.1)$$

где  $K_{nd}$  – коэффициент перекрытия диапазона,

$f'_{\max}$  – верхняя граница диапазона СВ, увеличенная с целью обеспечения производственного запаса,

$C_{k\max}, C_{k\min}$  – максимальная и минимальная емкости контура соответственно.

Далее, по заданной избирательности входной цепи, рассчитываем индуктивность катушки связи:

$$L_{CB} = \frac{(d_{\text{ЭП}} - d) \cdot R_{BX}}{2 \cdot \pi \cdot f_{0\min} \cdot k^2} = \frac{(0,032 - 0,01) \cdot 1000}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,514 \cdot 0,8^2} = 10,74 \text{ (мкГн)}, \quad (4.1.2)$$

где  $d_{\text{ЭП}} = \frac{1}{Q_{\text{ЭП}}} = \frac{1}{30,9} = 0,032$  – эквивалентное затухание контура, при

котором достигается заданная избирательность ВЦ,

$d = 0,01$  – конструктивное затухание контура ненагруженной магнитной антенны,

$k = 0,8$  – коэффициент связи между контуром катушки и катушкой связи.

При индуктивно-емкостной связи со входом каскада УРЧ, при заданном эквивалентном затухании, емкость конденсатора связи определяется уравнением:

$$C_{св} = \frac{2}{4\pi^2 f_{\min}^2 L} \left( \sqrt{\frac{2\pi f_{\min} L}{R_{\text{вх}} (\delta_s - \delta)}} - 1 \right) = \frac{2}{4 \cdot \pi^2 (525 \cdot 10^3)^2 \cdot 170 \cdot 10^{-6}} \left( \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot 525 \cdot 10^3 \cdot 170 \cdot 10^{-6}}{1000(0,05 - 0,01)}} - 1 \right) = 3,9 \text{ нФ} \quad (4.1.3)$$

## 4.2. Расчет усилителя радиочастоты

В качестве УРЧ выбираем схему с включением транзистора с ОЭ. Схема представлена на рис.4.2.

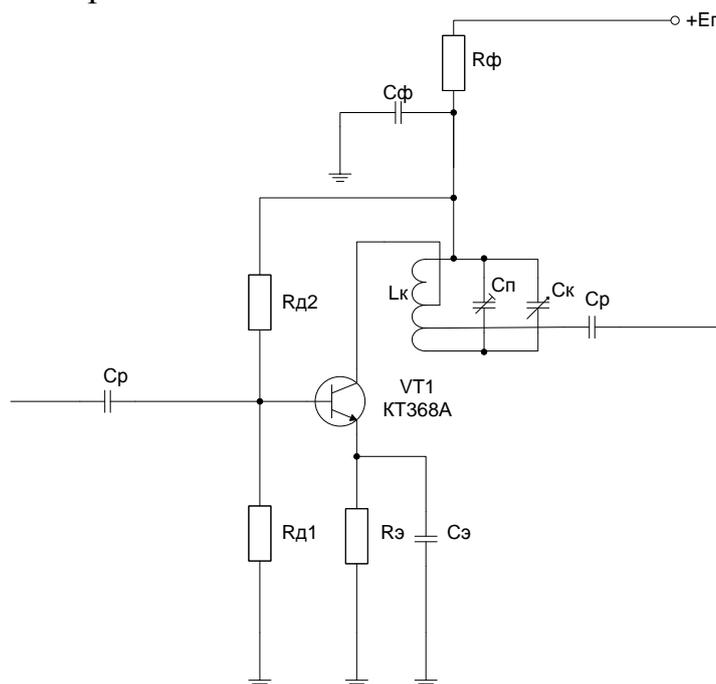


Рис.4.2.-Схема каскада УРЧ.

В качестве усилительного элемента выбирается биполярный транзистор с малым коэффициентом шума КТ368А.

Исходные данные для расчета:  $E_{П} = 9\text{ В}$ ;  $E_{КЭ} = 7\text{ В}$ ;  $I_K = 1\text{ мА}$ ;  $I_{КБ0} = 0,5\text{ мкА}$ ;  $h_{21} = 100$ ;  $U_{БЭ} = 0,6\text{ В}$ ;  $\tau_K = 1,5\text{ пс}$ ;  $C_K = 1,7\text{ пФ}$ ;  $T_{MAX} = 60\text{ С}$ .

$$h_{119} = r'_o + (1 + h_{219}) \cdot \frac{\varphi_K}{I_K} = \frac{\tau_K}{C_K} + (1 + h_{219}) \cdot \frac{\varphi_K}{I_K} = \frac{15}{1,7} + (1 + 100) \cdot \frac{0,026}{1 \cdot 10^{-3}} = 2635\text{ Ом}, \quad (4.2.1)$$

$$g_{11} = \frac{1}{h_{119}} = \frac{1}{2635} = 3,8 \cdot 10^{-4}\text{ См}. \quad (4.2.2)$$

Вычисляем  $\Delta I_{КБ0}$ :

$$\Delta I_{КБ0} = I_{КБ0} \cdot 2^{0,1 \cdot (T_{max} - T_0)} = 0,5 \cdot 2^{0,1 \cdot (333 - 293)} = 8\text{ (мкА)}. \quad (4.2.3)$$

Определяем  $\Delta U_{ЭБ}$ :

$$\Delta U_{ЭБ} = \gamma \cdot (T_{max} - T_0) = 1,8 \frac{\text{мВ}}{\text{К}} \cdot (333 - 293) = 0,18\text{ (В)}. \quad (4.2.4)$$

Определяем  $\Delta I_K$ :

$$\Delta I_K = I_K \cdot \frac{(T_{max} - T_{min})}{T_0} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(333 - 233)}{293} = 0,34\text{ (мА)}. \quad (4.2.5)$$

Рассчитываем  $R_э$ :

$$R_э = \frac{(\Delta U_{ЭБ} + 10 \cdot \Delta I_{КБ0})}{\Delta I_K} = \frac{(0,18 + 10 \cdot 8 \cdot 10^{-6})}{0,34 \cdot 10^{-3}} = 1148\text{ (Ом)}, \quad (4.2.6)$$

откуда выбираем  $R_э = 1100\text{ Ом}$ .

Рассчитываем  $R_\phi$ :

$$R_\phi = \left[ \frac{(E_\Pi - U_{KЭ})}{I_K} \right] - R_\mathcal{E} = \left[ \frac{(9-7)}{1 \cdot 10^{-3}} \right] - 1100 = 900 \text{ (Ом)}, \quad (4.2.7)$$

откуда выбираем  $R_\phi = 910 \text{ Ом}$ .

Находим входное сопротивление урс:

$$R_{\text{вх.урс}} = R_{Д1} // R_{Д2} // h_{11} = 14 // 52 // 2,635 = 2,1 \text{ (кОм)}. \quad (4.2.8)$$

Сопротивления резисторов  $R_{Д1}$  и  $R_{Д2}$ :

$$R_{Д2} = \frac{R_D \cdot U_{БП}}{U_B} = \frac{R_D \cdot (E_\Pi - R_\phi \cdot I_K)}{R_\mathcal{E} \cdot I_K + U_{БЭ}} = \frac{11000 \cdot (9 - 900 \cdot 1 \cdot 10^{-3})}{1100 \cdot 1 \cdot 10^{-3} + 0,6} = 52 \text{ (кОм)}, \quad (4.2.9)$$

откуда выбираем  $R_{Д2} = 51 \text{ кОм}$ ;

$$R_{Д1} = \frac{R_{Д2} \cdot R_D}{R_{Д2} - R_D} = \frac{51 \cdot 11}{51 - 11} = 14 \text{ (кОм)}, \quad (4.2.10)$$

откуда выбираем  $R_{Д1} = 15 \text{ кОм}$ ;

Рассчитываем емкость конденсаторов:

$$C_\mathcal{E} = \frac{500}{\omega_0 \cdot R_\mathcal{E}} = \frac{500}{2 \cdot \pi \cdot 1066 \cdot 10^3 \cdot 1100} = 0,7 \text{ (мкФ)}, \quad (4.2.11)$$

откуда выбираем  $C_\mathcal{E} = 0,68 \text{ мкФ}$ ;

$$C_\phi = \frac{50}{\omega_0 \cdot R_\phi} = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 1066 \cdot 10^3 \cdot 910} = 8,22 \text{ (нФ)}, \quad (4.2.12)$$

откуда выбираем  $C_\phi = 9 \text{ нФ}$ .

Разделительные конденсаторы:

$$C_p = \frac{20}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R_{\text{вх.урс}}} = \frac{20}{2 \cdot \pi \cdot 1066 \cdot 10^3 \cdot 2147} = 69 \text{ (пФ)}, \quad (4.2.13)$$

откуда выбираем  $C_p = 68 \text{ пФ}$ .

Произведём расчёт каскада УРЧ по переменному току.

В качестве избирательной нагрузки каскада УПЧ используем контур, рассчитанный для входной цепи.

Исходные данные:

$$d_{\text{эп}} \approx 0,032, d = 0,01, g_{\text{вых}} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ См}, g_{\text{вх}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ См}, |Y_{21}| = 38 \text{ мА/В}$$

Определим характеристическое сопротивление контура на крайних частотах поддиапазона:

$$\rho_{\text{МАКС}} = \frac{159}{f'_{\text{МАКС}} \cdot C_{\text{К.МИН}}} = \frac{159}{1,639 \cdot 52,3} \approx 2 \text{ кОм} \quad (4.2.14)$$

$$\rho_{\text{МИН}} = \frac{159}{f'_{\text{МИН}} \cdot C_{\text{К.МАКС}}} = \frac{159}{0,514 \cdot 535,5} = 0,578 \text{ кОм} \quad (4.2.15)$$

Коэффициент включения контура со стороны коллектора, исходя из условия получения максимального устойчивого усиления на максимальной частоте поддиапазона, находим по формуле:

$$m_Y = \frac{K_{уст}}{m_{BX} \cdot S \cdot \rho_{МАКС} \cdot Q_{Э.МАКС}} = \frac{10}{0,17 \cdot 38 \cdot 2 \cdot 11,75} = 0,065 \quad (4.2.16)$$

где  $K_{уст} \approx 10$  (берём из предварительного расчёта)  
(4.2.17)

$m_{BX}$  - коэффициент включения контура предыдущего каскада во входную цепь транзистора.

$$m_{BX} = K_{св} \sqrt{\frac{L_{св}}{L}} = 0,8 \sqrt{\frac{7,35}{170}} = 0,17 \quad (4.2.18)$$

Коэффициент включения контура со стороны коллектора исходя из условия получения оптимального согласования на минимальной частоте поддиапазона:

$$m_{ОПТ} = \sqrt{\frac{(1 - \Psi_{МИН}) \cdot R_{22}}{2 \cdot \rho_{МИН} \cdot Q_{Э.МИН}}} = \sqrt{\frac{(1 - 0,2575) \cdot 1}{2 \cdot 0,578 \cdot 30,9}} = 0,144 \quad (4.2.19)$$

$$\text{где } \Psi_{МИН} = \frac{Q_{Э.МИН}}{Q_K} = \frac{30,9}{120} = 0,2575 \quad (4.2.20)$$

Для  $m_1$  принимается меньшее из  $m_Y$  и  $m_{ОПТ}$ :  $m_1 = 0,065$ .

Берём индуктивность контура  $L = 170 \mu\text{Гн}$ , равную вычисленной для входной цепи.

Вычисляем коэффициент подключения  $m_2$ :

$$m_2 \leq m_{2зк} = \sqrt{\frac{\frac{d_{эп} - d}{2\pi f_{0\max} L} - m_1^2 g_{вых}}{g_{вх2}}}; \quad (4.2.21)$$

$$m_2 \leq m_{2зк} = \sqrt{\frac{0,032 - 0,01}{2\pi \cdot 1639 \cdot 10^3 \cdot 170 \cdot 10^{-6}} - 0,065^2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-3}}} = 0,097.$$

Для обеспечения требуемого ослабления по зеркальному каналу, выбираем  $m_2 = 0,071$ .

Определяем резонансный коэффициент усиления каскада на максимальной частоте:

$$K_0 = |Y_{21}| m_1 m_2 2\pi f_{0\max} L / d_{эп}; \quad (4.2.22)$$

$$K_0 = 38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,065 \cdot 0,097 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1639 \cdot 10^3 \cdot 170 \cdot 10^{-6} / 0,025 = 12,4.$$

Эквивалентное затухание каскада на частоте  $f_{o\min}$ :

$$d_{\text{эп min}} = d + 2\pi f_{0\text{min}} L(m_1^2 g_{\text{вх}} + m_2^2 g_{\text{вх}2}); \quad (4.2.24)$$

$$d_{\text{эп min}} = 0,01 + 2\pi \cdot 515 \cdot 10^3 \cdot 170 \cdot 10^{-6} (0,065^2 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} + 0,097^2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}) = 0,017;$$

Рассчитываем напряжение на выходе каскада УРЧ:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{вх min}} \cdot K; \quad (4.2.25)$$

$$U_{\text{вх}} = 17,28 \cdot 10^{-6} \cdot 11,7 = 218 \text{ мкВ}.$$

### 4.3 Расчёт сопряжения тракта гетеродина и преселектора

Обеспечить сопряжение настроек гетеродина и преселектора – значит сделать так, чтобы при всех положениях ручки настройки приёмника частота гетеродина  $f_2$  отличалась от частоты настройки преселектора  $f_{\text{прес}}$  в большую (верхнее сопряжение) сторону на промежуточную частоту  $f_{\text{пч}}$ , т.е. чтобы имело место равенство:

$$f_2 = f_{\text{пч}} + f_{\text{прес}}$$

Контур гетеродина перестраивается в диапазоне частот:

$$f_{\text{Г min}} = f_{\text{min}} + f_{\text{пч}} \quad (4.3.1)$$

$$f_{\text{Г min}} = 515 + 465 = 980 \text{ кГц}$$

$$f_{\text{Г max}} = f_{\text{max}} + f_{\text{пч}} \quad (4.3.2)$$

$$f_{\text{Г max}} = 1639 + 465 = 2104 \text{ кГц}$$

Контур гетеродина имеет коэффициент перекрытия по частоте:

$$K_{\text{дг}} = f_{\text{Г max}} / f_{\text{Г min}} \quad (4.3.3)$$

$$K_{\text{дг}} = 2104 / 980 = 2,14,$$

отличающийся от коэффициента перекрытия по частоте контура преселектора:

$$K_{\text{д}} = f_{\text{max}} / f_{\text{min}} \quad (4.3.4)$$

$$K_{\text{д}} = 1639 / 515 = 3,18$$

Рассчитываем частоты сопряжения:

$$f_1 = f_{\text{min}} K_{\text{д}}^{0,062} \quad (4.3.5)$$

$$f_1 = 515 \cdot 3,18^{0,062} = 592 \text{ кГц}$$

$$f_2 = f_{\text{min}} K_{\text{д}}^{0,5} \quad (4.3.6)$$

$$f_2 = 515 \cdot 3,18^{0,5} = 1086 \text{ кГц}$$

$$f_3 = f_{\text{min}} K_{\text{д}}^{0,933} \quad (4.3.7)$$

$$f_3 = 515 \cdot 3.18^{0.933} = 1566 \text{ кГц}$$

При точном сопряжении в трёх точках контур гетеродина выполняется по схеме рис 4.3.

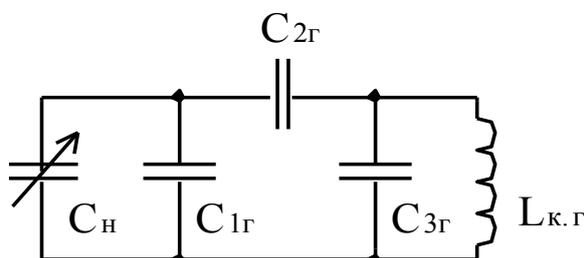


Рис.4.3. Контур гетеродина

Находим вспомогательные коэффициенты:

$$a = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{f'_{\min}} = \frac{1086 + 592 + 1566}{515} = 6,3 \quad (4.3.8)$$

$$b = \frac{f_1 \cdot f_2 + f_2 \cdot f_3 + f_1 \cdot f_3}{f'_{\min}{}^2} = \frac{1086 \cdot 592 + 592 \cdot 1566 + 1086 \cdot 1566}{515^2} = 12,3 \quad (4.3.9)$$

$$c = \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot f_3}{f'_{\min}{}^3} = \frac{1086 \cdot 592 \cdot 1566}{515^3} = 7,37 \quad (4.3.10)$$

$$\varphi = \frac{f_{ny}}{f'_{\min}} = \frac{465}{515} = 0,903 \quad (4.3.11)$$

$$d = a + 2 \cdot \varphi = 6,3 + 2 \cdot 0,903 = 8,106 \quad (4.3.12)$$

$$l = \frac{b \cdot d - c}{2 \cdot \varphi} = \frac{12,3 \cdot 8,106 - 7,37}{2 \cdot 0,903} = 51,126 \quad (4.3.13)$$

$$m = a \cdot d + \varphi^2 - b + l = 6,3 \cdot 8,106 + 0,903^2 - 12,3 + 51,126 = 90,709 \quad (4.3.14)$$

$$n = \frac{\varphi^2 \cdot l + c \cdot d}{m} = \frac{0,903^2 \cdot 51,126 + 7,37 \cdot 8,106}{90,709} = 1,118 \quad (4.3.15)$$

Рассчитываем значения емкостей:

$$C'_{2Г} = \left[ C_3 + \frac{C_2 \cdot (C_{1K \min} + C_{K \min})}{C_2 + C_1 + C_{K \min}} \right] \cdot \frac{K_D^2}{n} = \left[ 6 \cdot 10^{-12} + \frac{1,4 \cdot 10^{-9} \cdot 51,8 \cdot 10^{-9}}{1,4 \cdot 10^{-9} + 51,8 \cdot 10^{-9}} \right] \cdot \frac{3,183^2}{1,118} = 511(n\Phi) \quad (4.3.16)$$

16)

$$C_{2\Gamma} = \frac{C_2 \cdot C'_{2\Gamma}}{C_2 + C'_{2\Gamma} + C_3} = \frac{1,4 \cdot 10^{-9} \cdot 511 \cdot 10^{-12}}{1,4 \cdot 10^{-9} + 511 \cdot 10^{-12} + 6 \cdot 10^{-12}} = 373(n\Phi) \quad (4.3.17)$$

$$C_{1\Gamma} = C_1 + \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C'_{2\Gamma} + C_3} = 52,3 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{1,4 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^{-12}}{1,4 \cdot 10^{-9} + 511 \cdot 10^{-12} + 6 \cdot 10^{-12}} = 56,68(n\Phi) \quad (4.3.18)$$

$$C_{3\Gamma} = C'_{2\Gamma} \cdot \left( \frac{n}{l-n} + \frac{C_3}{C_2 + C'_{2\Gamma} + C_3} \right) =$$

$$= 511 \cdot 10^{-12} \left( \frac{1,118}{51,126 - 1,118} + \frac{6 \cdot 10^{-12}}{1,4 \cdot 10^{-9} + 511 \cdot 10^{-12} + 6 \cdot 10^{-12}} \right) = 13,02(n\Phi) \quad (4.3.19)$$

По ГОСТ выбираем  $C_{1\Gamma} = 56(n\Phi) \pm 5\%$ ,  $C_{2\Gamma} = 390(n\Phi) \pm 5\%$ ,  
 $C_{3\Gamma} = 12(n\Phi) \pm 5\%$

Произведём проверку правильности выполнения расчета:

$$C_{K\Gamma \min} = C_{3\Gamma} + \frac{C_{2\Gamma} \cdot (C_{1\Gamma} + C_{K \min})}{C_{2\Gamma} + C_{1\Gamma} + C_{K \min}} = 13,02 + \frac{373 \cdot (56,68 + 51,8)}{373 + 56,68 + 51,8} = 97,059(n\Phi) \quad (4.3.20)$$

$$C_{K\Gamma \max} = C_{3\Gamma} + \frac{C_{2\Gamma} \cdot (C_{1\Gamma} + C_{K \max})}{C_{2\Gamma} + C_{1\Gamma} + C_{K \max}} = 13,02 + \frac{373 \cdot (56,68 + 534,8)}{373 + 56,68 + 534,8} = 241,8(n\Phi) \quad (4.3.21)$$

Если расчёт выполнен правильно, то, с небольшой погрешностью, должно выполняться следующее равенство:

$$K_{\mathcal{D}\Gamma} = \sqrt{\frac{C_{K\Gamma \max}}{C_{K\Gamma \min}}} = \sqrt{\frac{241,8}{97,359}} = 2,157 \quad (4.3.22)$$

$$K_{\mathcal{D}\Gamma} = \frac{f'_{\max} + f_{nc}}{f'_{\min} + f_{nc}} = \frac{1639 \cdot 10^3 + 465 \cdot 10^3}{515 \cdot 10^3 + 465 \cdot 10^3} = 2,158 \quad (4.3.23)$$

Расчёт проведён правильно.

Рассчитываем индуктивность катушки контура гетеродина:

$$L_{K\Gamma} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot (f'_{\max} + f_{nc})^2 \cdot C_{K\Gamma \min}} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot (1639 \cdot 10^3 + 465 \cdot 10^3)^2 \cdot 97,059 \cdot 10^{-12}} =$$

$$= 0,19(\text{мГн}) \quad (4.3.24)$$

#### 4.4. Расчёт гетеродина

Схема гетеродина представлена на рис.4.4.

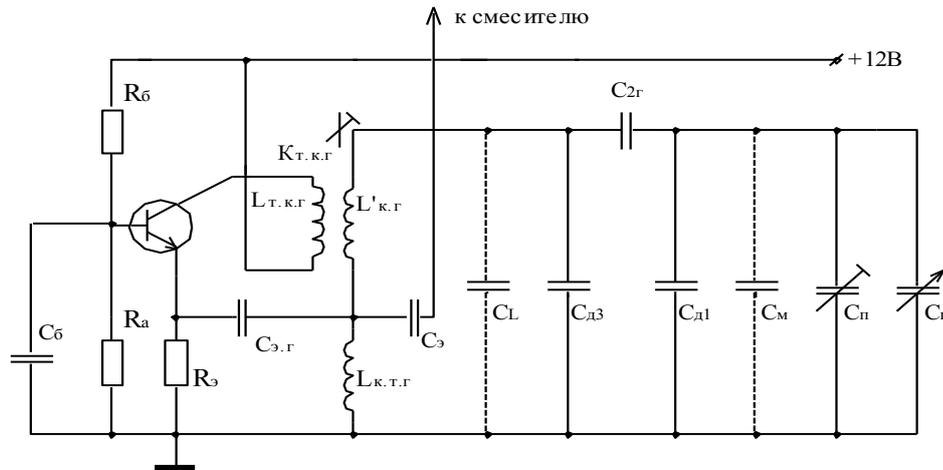


Рис.4.4- Схема гетеродина

Выбираем постоянную составляющую тока эмиттера при отсутствии генерации (отсутствия обратной связи) и минимальную амплитуду напряжения эмиттер-база:

$$i_{э,0,нач} = 1\text{mA} , U_{э..м.min} = 75\text{mV}$$

С уменьшением  $i_{э,0,нач}$  в преобразователе уменьшается крутизна преобразования  $y_{2ln}$ . Увеличение  $i_{э,0,нач}$  сверх 1mA, не давая существенных преимуществ, приводит к нежелательному росту потребления электроэнергии от источника. Уменьшение  $U_{э..м.min}$  ведет к уменьшению надежности генерации.

Выбираем  $\delta\alpha = 0,1$  и рассчитываем:

$$V = \frac{R'_о}{R'_э} = \delta\alpha \frac{2}{1 - \alpha_{min}} = 0,1 \cdot \frac{2}{1 - 0,95} = 4, \quad (4.4.1)$$

где  $\alpha_{min} = 0,97$  – минимальное значение температурного изменения у транзистора.

Рассчитываем:

$$\delta t = 2 \cdot \frac{t_{max} - 20}{293} = 2 \cdot \frac{50 - 20}{293} = 0,205, \quad (4.4.2)$$

где  $t_{max} = 50^\circ\text{C}$ ,

$\delta\alpha$ ,  $\delta t$  - допустимые величины относительных отклонений тока эмиттера.

Рассчитываем внутренние сопротивления:

$$R'_3 = \frac{25,6 \cdot 10^{-3}}{\delta t \cdot i_{э.о.нач} \cdot \left(2^{\frac{t_{\max}-20}{\tau}} - 1\right)^{-1} - \nu \cdot I_{к.о}} = \frac{25,6 \cdot 10^{-3}}{0,205 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot \left(2^{\frac{50-20}{7}} - 1\right)^{-1} - 4 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 8,316(\kappa O M)$$

где  $\tau = 7^0 C$  – период удвоения тока

$$I_{к.о} = 2 \text{ мкА}$$

$$R'_6 = \nu \cdot R'_3 = 4 \cdot 8,316 \cdot 10^3 = 33,264(\kappa O M)$$

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{A_\delta}{i_{y.I.A} \left( R'_y + \frac{1-\alpha_{\min}}{2} \cdot R'_a \right) + 5,8 \cdot 10^{-2} \cdot Lg \frac{i_{y.I.a}}{J_{i.y}}} = \\ &= \frac{8}{10^{-3} \cdot \left( 8,316 \cdot 10^3 + \frac{1-0,97}{2} \cdot 33,264 \cdot 10^3 \right) + 5,8 \cdot 10^{-2} \cdot Lg \frac{10^{-3}}{0,04 \cdot 10^{-6}}} = 0,882 \end{aligned} \quad (4.4.3)$$

Рассчитываем сопротивление цепей питания эмиттера и базы:

$$R'_6 = \xi \cdot R'_3 = 0,822 \cdot 33264 = 29,338(\kappa O M) \quad (4.4.4)$$

$$R_3 = R'_3 - \frac{1}{\xi} \cdot R'_6 = 8,316 \cdot 10^3 - \frac{1}{0,882} \cdot 2 \cdot 10^3 = 6,048(\kappa O M) \quad (4.4.5)$$

$$R_a = \frac{\xi \cdot R'_6 - R_\phi}{\xi - 1} = \frac{0,882 \cdot 33264 - 2000}{0,882 - 1} \leq 0 \quad (4.4.6)$$

По ГОСТ выбираем  $R_3 = 5,6(\kappa O M)$ ,  $R_6 = 27(\kappa O M)$

Должно выполняться следующее условие:

$$a \leq 0,1 \dots 0,15,$$

$$\text{где } a = \frac{U_{э.м.мин}}{R'_3 \cdot i_{э.о.нач}} = \frac{75000}{8,316 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}} = 9,019 \cdot 10^{-3} \leq 0,1 \quad (4.4.7)$$

С увеличением  $a$  растёт  $K_U$  и, как следствие, увеличивается сопротивление, вносимое в контур транзистором.

Находим отношение наибольшей амплитуды напряжения на коллекторе к наименьшей амплитуде этого напряжения:

$$K_U = \frac{E_K}{E_{K.\min}} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{\Delta i_3}{i_3} \right) + \delta t \right] \cdot \frac{K_{др}}{1 - \left( \frac{\Delta i_3}{i_3} \right)_a} \cdot \frac{1-a}{1 - K_{др} \cdot a} = \quad (4.4.8)$$

$$= \frac{8}{6} \cdot [1 + 0,012 + 0,205] \cdot \frac{1 - 9,019 \cdot 10^{-3}}{1 - 2,158 \cdot 9,019 \cdot 10^{-3}} = 3,582$$

$$\text{где } \left( \frac{\Delta i_3}{i_3} \right) = \frac{R''}{R_3} \cdot \frac{1 - \alpha_{\min}}{2} = 0,012 \quad (4.4.9)$$

Находим наибольшее допустимое значение амплитуды коллекторного напряжения:

$$U_{K.M.\max} = 0,6 \cdot (E_k - i_{\text{э.о.}\max} \cdot R_{\text{э}} - 0,5) = 0,6 \cdot (8 - 1,27 \cdot 10^{-3} \cdot 5,6 \cdot 10^3 - 0,5) = 0,454(B) \quad (4.4.10)$$

где

$$\begin{aligned} i_{\text{э.о.}\max} &= i_{\text{э.о.}\text{нач}} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{\Delta i_{\text{э}}}{i_{\text{э}}} \right) + \delta t \right] + \frac{U_{\text{э.м.}\min} \cdot K_U}{R_{\text{э}}} = \\ &= 10^{-3} \cdot [1 + 0,012 + 0,205] + \frac{75 \cdot 10^{-3} \cdot 3,582}{5,6 \cdot 10^3} = 1,27(\text{мА}) \end{aligned} \quad (4.4.11)$$

Находим добротность контура с учётом сопротивления, вносимого из цепи эмиттер-база:

$$Q' = Q \cdot \left( 1 - \frac{U_{\text{э.м.}\min}}{U_{K.M.\min}} \cdot K_U \right) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{75 \cdot 10^{-3}}{454 \cdot 10^{-3}} \cdot 3,582 \right) = 40,826 \quad (4.4.12)$$

Находим минимальное значение постоянной составляющей тока эмиттера при наличии генерации:

$$i_{\text{э.о.}\min} = i_{\text{э.о.}\text{нач}} \cdot \frac{E_{k.\min}}{E_k} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\Delta i_{\text{э}}}{i_{\text{э}}} \right)_a \right] + \frac{U_{\text{э.м.}\min}}{R_{\text{э}}} = 10^{-3} \cdot \frac{6}{8} \cdot [1 - 0,012] + \frac{75 \cdot 10^{-3}}{6,048 \cdot 10^3} = 0,75(\text{мА})$$

Определяем наименьшую амплитуду тока коллектора:

$$I_{k.\text{э.}\min} = 1,6 \cdot i_{\text{э.о.}\min} = 1,6 \cdot 0,75 = 1,2(\text{мА}) \quad (4.4.13)$$

Минимальное значение эквивалентного сопротивления контура:

$$R_{\text{о.э.}\min} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{э.}\min} \cdot L_{KГ} \cdot Q' = 2 \cdot 3,14 \cdot 610 \cdot 10^3 \cdot 0,59 \cdot 10^{-3} \cdot 40,828 = 92,3(\text{кОм}) \quad (4.4.14)$$

$$\text{где } f_{\text{э.}\min} = f'_{\min} + f_{\text{нч}} = 515 + 465 = 980(\text{кГц}) \quad (4.4.15)$$

Коэффициенты включения контура в коллекторную цепь:

$$p_{2Г} = \sqrt{\frac{U_{k.m.\max}}{I_{k.m.\min} \cdot K_U \cdot R_{\text{о.э.}\min}}} = \sqrt{\frac{0,454}{0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 3,582 \cdot 93,2 \cdot 10^3}} = 0,043 \quad (4.4.16)$$

в эмиттерную или базовую цепь:

$$p_{1Г} = p_{2Г} \cdot \frac{U_{\text{э.м.}\min}}{U_{K.M.\max}} \cdot K_U = 0,043 \cdot \frac{75 \cdot 10^{-3}}{0,454} \cdot 3,582 = 0,025 \quad (4.4.17)$$

Определяем индуктивности катушек:

$$L_{K.T.Г.} = L_{KГ} \cdot p_{1Г} = 0,59 \cdot 10^{-3} \cdot 0,025 = 15(\text{мкГн}) \quad (4.4.18)$$

$$L_{T.K.Г.} = L_{KГ} \cdot \frac{p_{2Г}^2}{K_{T.K.Г.}^2 \cdot (1 - p_{1Г})} = 0,59 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,043^2}{0,8^2 \cdot (1 - 0,025)} = 1,74(\text{мкГн}) \quad (4.4.19)$$

Должны выполняться условия:

$$C_3 \geq \frac{1}{20 \cdot \pi \cdot f'_{\min}} = \frac{1}{20 \cdot 3,14 \cdot 515 \cdot 10^3} = 31(\text{нФ}) \quad (4.4.20)$$

$$C_6 \geq \frac{1 - \alpha_{\min}}{20 \cdot \pi \cdot f'_{\min}} = \frac{1 - 0,97}{20 \cdot 3,14 \cdot 515 \cdot 10^3} = 0,9(\text{нФ}) \quad (4.4.21)$$

Принимаем  $C_3 = 33(\text{нФ}) \pm 10\%$ ,  $C_6 = 1(\text{нФ}) \pm 10\%$

Находим значения ёмкостей:

$$C_{ДБ} = C_{ЗГ} - C_L = 13,02 - 8 = 5,02(\text{нФ}) \quad (4.4.22)$$

Выбираем  $C_{ДБ} = 5,6(\text{нФ}) \pm 10\%$ ,  $C_{\partial 1} = 390(\text{нФ}) \pm 10\%$

## 4.5 Расчет смесителя

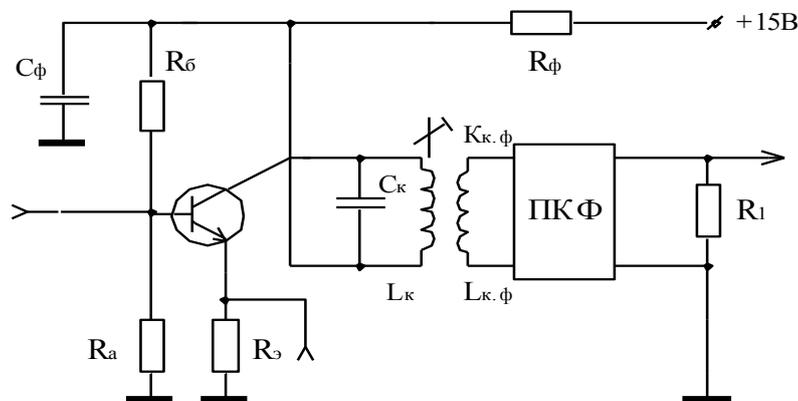


Рис.4.5 Схема смесителя сигналов

Основные параметры ПКФ ПФ1П-2:

$$R_{Г} = 1,2 \text{ кОм}; \quad g_{02} = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1200} = 0,83(\text{мСм}); \quad (4.5.1)$$

$$R_{Н} = 0,6 \text{ кОм}; \quad g_{01} = \frac{1}{R_u} = \frac{1}{600} = 1,67(\text{мСм}) \quad (4.5.2)$$

где  $g_{02}$  и  $g_{01}$  - характеристические проводимости со стороны соответственно входных и выходных зажимов.

Основные параметры транзистора КТ368 в режиме преобразования:

$$\begin{aligned} y_{21} &= 38 \text{ мСм}, & g_{11} &= 1,35 \text{ мСм}, \\ y_{21\min} &= 20 \text{ мкСм}, & g_{22} &= 0,094 \text{ мСм}, \\ y_{21\max} &= 63,8 \text{ мкСм}, & b_{22} &= 0,94 \text{ мСм}. \end{aligned}$$

Находим допустимое значение обобщенного показателя связи:

$$M_{f \min} = \frac{y_{21} \cdot y_{21\min}}{g_{11} \cdot g_{22} \cdot \xi_{oc}} = \frac{38 \cdot 10^{-31} \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,094 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2} = 29,945 \quad (4.5.3)$$

$$M_{f \max} = \frac{y_{21} \cdot y_{21\max}}{g_{11} \cdot g_{22} \cdot \xi_{oc}} = \frac{38 \cdot 10^{-31} \cdot 63,8 \cdot 10^{-6}}{1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,094 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2} = 95,524, \quad (4.5.4)$$

где  $\xi_{oc} = 0,2$ .

Рассчитаем значения показателя, характеризующего степень связи входа транзистора смесителя с УРС:

$$A_{1f \min} = \frac{1}{R_{oc.эф \min} g_{11} p_{1сф \min}^2} - 1 = \frac{1}{28,71 \cdot 10^3 \cdot 1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,052} - 1 = 8,542 \quad (4.5.5)$$

$$A_{1f \max} = \frac{1}{R_{oc.эф \max} g_{11} p_{1сф \max}^2} - 1 = \frac{1}{56,36 \cdot 10^3 \cdot 1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,013} - 1 = 76,769 \quad (4.5.6)$$

где  $R_{oc.эф \min} = 28,71$  (кОм),  $R_{oc.эф \max} = 56,36$  (кОм),  $p_{1сф \min} = 0,052$ ,  $p_{1сф \max} = 0,013$ .

Показатели связи:

$$A_{2f \min} = \left( \frac{M_{f \min}}{(1 + A_{1f \min})q} - 1 \right) = \left( \frac{29,945}{1 + 8,546} - 1 \right) = 2,138 \quad (4.5.7)$$

$$A_{2f \max} = \left( \frac{M_{f \max}}{(1 + A_{1f \max})q} - 1 \right) = \left( \frac{95,524}{1 + 76,769546} - 1 \right) = 0,228 \quad (4.5.8)$$

где  $q = 1$ .

Находим наименьшее значение  $A_2$ , при котором обратная связь через транзистор по промежуточной частоте еще не оказывает существенного влияния на работу преобразователя:

$$A_{2нч} = \frac{y_{21}y_{12}}{g_{22}\xi_{oc}\sqrt{(b_r + b_{11})^2 + g_{11}^2}} = \frac{38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,59 \cdot 10^{-3}}{0,094 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot \sqrt{(0,035 + 5,5 \cdot 10^{-3})^2 + (1,35 \cdot 10^{-3})^2}} = 29,165$$

$$\text{где } b_r = 2\pi f_{нч} C_{сб} = 2 \cdot 3,14 \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 10^{-9} = 0,035 \quad (4.5.9)$$

Находим наименьшее значение  $A_2$ , при котором обратная связь через транзистор на частоте сигнала еще не оказывает существенного влияния на работу преобразователя:

$$A_{2с} = \frac{y_{21}y_{12}\Delta F_{кэ}(1 + \varepsilon^2)}{g_{11}g_{22}\xi_{oc}f_{\min}(1 + A_{1f \min})} = \frac{38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,59 \cdot 10^{-3} \cdot 50,4 \cdot 10^3}{0,094 \cdot 10^{-3} \cdot 1,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 \cdot 515 \cdot 10^3 \cdot (1 + 8,542)} = 21,813 \quad (4.5.10)$$

где  $\Delta F_{кэ} = 4\Delta F = 4 \cdot 12,6 = 50,4$  (кГц) – полоса пропускания вспомогательного эквивалентного контура и  $\varepsilon = 0$ .

Находим минимальные значения показателей  $A_2$  и  $A_{1 \text{ сл}}$ :

$$\begin{aligned}
A_{2\Delta F} &= \frac{1}{\xi_{\Delta F}} \delta g_{22} - 1 = \frac{1}{0,2} \cdot 0,5 - 1 = 1,5 \\
A_{1cл\Delta F} &= \frac{1}{\xi_{\Delta F}} \delta g_{11} (1 + \varepsilon^2) - 1 = \frac{1}{0,2} \cdot 0,5 \cdot 2 - 1 = 4 \\
A_{2\Delta f} &= \frac{1}{2\xi_{\Delta f}} \delta b_{22} \frac{b_{22}}{g_{22}} - 1 = \frac{1}{2 \cdot 0,2} \cdot 0,2 \cdot \frac{0,94 \cdot 10^{-3}}{0,094 \cdot 10^{-3}} - 1 = 4 \\
A_{1cл\Delta f} &= \frac{1}{2\xi_{\Delta f}} \delta b_{1cл} \frac{b_{1cл}}{g_{11cл}} (1 + \varepsilon^2) - 1 = \frac{1}{2 \cdot 0,2} \cdot 0,2 \cdot \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{1,35 \cdot 10^{-3}} \cdot 2 - 1 = 3,074
\end{aligned} \tag{4.5.11}$$

где  $\varepsilon = 1$ .

Большее из найденных  $A_2, A_{2ПЧ}, A_{2c}$  обозначаем  $A_{2o.c} : A_{2o.c} = 29,165$

Большее из  $A_{1cл\Delta F}, A_{1cл\Delta f} - A_{1cл} : A_{1cл} = 4$

Большее из  $A_{2\Delta F}, A_{2\Delta f}$  обозначаем  $A_2 : A_2 = 4$

Находим следующие параметры:

1) величину емкости:

$$C_k = \frac{1}{2\pi\Delta F_{кз}} g_{22} (1 + A_2) = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 36 \cdot 10^3} \cdot 0,094 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 4) = 2,079 (\text{нФ}) \tag{4.5.12}$$

По ГОСТ выбираем  $C_k = 2,2 (\text{нФ}) \pm 10\%$

2) конструктивную добротность:

$$Q = \frac{f_{нч}}{\Delta F_{кз}} \frac{2(A_2 + 1)}{A_2 - 1} = \frac{465 \cdot 10^3}{36 \cdot 10^3} \frac{2 \cdot (4 + 1)}{4 - 1} = 43,056 \tag{4.5.13}$$

3) коэффициент включения :

$$P_\phi = \sqrt{\frac{g_{22}(A_2 + 1)}{2g_{02}}} = \sqrt{\frac{0,094 \cdot 10^{-3}(4 + 1)}{2 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3}}} = 0,53 \tag{4.5.14}$$

Находим индуктивность катушки :

$$L_k = \frac{1}{4\pi^2 f_{нч}^2 C_k} = \frac{1}{4 \cdot 3,14^2 \cdot (465 \cdot 10^3)^2 \cdot 2,097 \cdot 10^{-9}} = 56,38 (\text{мкГн}) \tag{4.5.15}$$

Принимаем  $\kappa_{K,\phi} = 0,8$  с и находим

$$L_{K,\phi} = L_k \cdot \frac{P_\phi^2}{\kappa_{K,\phi}^2} = 56,38 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,686^2}{0,8^2} = 41,4 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}, \tag{4.5.16}$$

$$R_1 = \frac{1}{(g_{01} - g_{11cл})} = \frac{1}{1,67 \cdot 10^{-3} - 0,63 \cdot 10^{-3}} = 952 \text{ Ом}. \tag{4.5.17}$$

Принимаем  $R_1 = 1,2 \text{ кОм} \pm 10\%$ .

Находим коэффициент усиления преобразователя:

$$K_{o.нр} = \frac{y_{21} K_\phi}{2p_\phi \sqrt{g_{02} g_{01}}} = \frac{38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,335}{2 \cdot 0,53 \cdot \sqrt{0,83 \cdot 10^{-3} \cdot 1,67 \cdot 10^{-3}}} = 12,2 \tag{4.5.18}$$

$$\text{где } K_\phi = 10^{\frac{b_0}{20}} = 10^{\frac{8}{20}} = 0,4 \tag{4.5.19}$$

$b_0 = 8$  дБ – собственное затухание фильтра.

Т.к. коэффициент усиления преобразователя не соответствует полученному в ходе предварительного расчёта, то необходимо принять меры по его уменьшению. Для этого нам необходимо уменьшить  $y_{21}$ . Зададимся  $I_{\text{эо}} = 0,2 \text{ мА}$ , т.е. в 5 раз меньше, чем сразу. Т.к.  $r_{\text{э}} = \frac{\varphi_T}{I_{\text{эо}}}$ , то с уменьшением в 5 раз  $I_{\text{эо}}$  во столько же увеличится  $r_{\text{э}}$ . А исходя из формулы  $y_{11} = r_{\text{э}} + (1 + y_{21}) \cdot r_{\text{э}}$ , мы видим, что с увеличением  $r_{\text{э}}$  растёт  $y_{11}$ . Следовательно  $y_{21}$  уменьшится  $\approx 5$  в связи с обратно пропорциональной зависимостью  $y_{11}$  и  $y_{21}$ .

$$\text{Пересчитаем: } K_{\text{о.пр}} = \frac{y_{21} K_{\phi}}{2 p_{\phi} \sqrt{g_{02} g_{01}}} = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,335}{2 \cdot 0,53 \cdot \sqrt{0,83 \cdot 10^{-3} \cdot 1,67 \cdot 10^{-3}}} = 2,14$$

## 4.6 Расчёт тракта УПЧ

Исходными данными к расчёту тракта УПЧ является: количество каскадов тракта УПЧ; вид избирательной системы; добротности избирательных систем, обеспечивающих заданное подавление соседнего канала при заданном подавлении полосы пропускания; коэффициент усиления каскада УПЧ.

Схема 1-го каскада УПЧ представлена на рис.4.5.

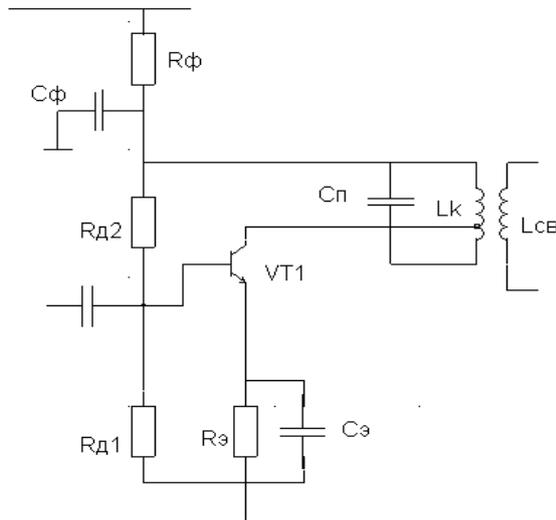


Рис. 4.6.1 Схема 1-го каскада УПЧ.

Рассчитаем параметры избирательной системы.

Эквивалентная добротность тракта (по полосе пропускания), обеспечивающая заданное подавление соседнего канала, равна:

$$Q_{\text{э}} = 22.$$

По таблицам находим для заданного типа избирательной систем (одиночный резонансный контур) вспомогательные величины:

$$\Psi(1) = 1;$$

$$\Theta(1) = 2.22.$$

Эквивалентное затухание контура:

$$\delta_s = \frac{1}{Q_s} = \frac{1}{22} = 0,045. \quad (4.6.1)$$

Абсолютные отклонения емкостей транзистора КТ315Б равны:

$$\Delta C_{1\max} = 5,85n\Phi;$$

$$\Delta C_{2\max} = 7,5n\Phi.$$

Тогда минимально допустимая эквивалентная ёмкость рассчитывается следующим образом:

$$C_s' \geq \Delta C_m \frac{f_0}{\Pi} \Theta(1) = (5,85 + 7,5) \frac{465}{10} 2,22 = 1,375n\Phi. \quad (4.6.2)$$

Определяем индуктивность контурной катушки:

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 f_0^2 C_s} = \frac{1}{(2\pi)^2 (465 \cdot 10^3)^2 1375 \cdot 10^{-12}} = 85\text{мкГн}. \quad (4.6.3)$$

Пологая собственное затухание контуров равным  $\delta = 0,01$ , находим проводимости  $g$  и  $g_s$ :

$$g = \delta \omega_0 C_s = 0,01 \cdot 2\pi \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 1375 \cdot 10^{-12} = 4,01 \cdot 10^{-5} \text{См}; \quad (4.6.4)$$

$$g_s = \frac{g \delta_s}{\delta} = \frac{4,01 \cdot 10^{-5} \cdot 0,045}{0,01} = 0,18\text{мСм}. \quad (4.6.5)$$

Рассчитываем  $N$  и  $M$ :

$$N = 0,5g \left( \frac{\delta_s}{\delta} - 1 \right) = 0,5 \cdot 4,01 \cdot 10^{-5} \left( \frac{0,045}{0,01} - 1 \right) = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{См}; \quad (4.6.6)$$

$$M = \delta_s n K_0 / (\delta Y_{21}) = \frac{0,045 \cdot 4,01 \cdot 10^{-5} \cdot 22}{0,01 \cdot 38 \cdot 10^{-3}} = 0,104. \quad (4.6.7)$$

Определяем коэффициенты включения контурной катушки с цепью коллектора и последующего каскада соответственно:

$$p_1 = \sqrt{\frac{N}{g_{22}} - \sqrt{\frac{N^2}{g_{22}^2} - \frac{g_{11} M^2}{g_{22}}}} = \sqrt{\frac{0,7 \cdot 10^{-4}}{0,28 \cdot 10^{-6}} - \sqrt{\frac{(0,7 \cdot 10^{-4})^2}{(0,28 \cdot 10^{-6})^2} - \frac{0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,104^2}{0,28 \cdot 10^{-6}}}} = 0,179; \quad (4.6.8)$$

$$p_2 = \sqrt{\frac{N}{g_{11}} + \sqrt{\frac{N^2}{g_{11}^2} - \frac{g_{22} M^2}{g_{11}}}} = \sqrt{\frac{0,7 \cdot 10^{-4}}{0,38 \cdot 10^{-3}} + \sqrt{\frac{(0,7 \cdot 10^{-4})^2}{(0,38 \cdot 10^{-3})^2} - \frac{0,27 \cdot 10^{-6} \cdot 0,104^2}{0,38 \cdot 10^{-3}}}} = 0,637. \quad (4.6.9)$$

Пологая монтажные и паразитные ёмкости равными:

$$C_k = C_{m1} = C_{m2} = 7,5n\Phi,$$

находим ёмкость в контуре:

$$\begin{aligned} C_n &= C_s - C_k - p_1^2 (C_{22} + C_{m1}) + p_2^2 (C_{11} + C_{m2}) = \\ &= 1375 - 7,5 - 0,171^2 (19,5 + 7,5) + 0,607^2 (25 + 7,5) = 1379n\Phi. \end{aligned} \quad (4.6.10)$$

Выбираем ёмкость из стандартного ряда:  $C_n = 1,6n\Phi$ .

$$L_{св} = L_k \frac{p_2^2}{K_{св}^2} = 72 \frac{0,607^2}{0,8^2} = 41\text{мкГн} \quad (4.6.11)$$

Рассчитаем сопротивления резисторов и ёмкости конденсаторов, обеспечивающих режим работы транзистора.

Принимаем падение напряжения на резисторе фильтра  $u_1 = 1В$  и находим его сопротивление ( $I_k = 1\text{мА}$ ):

$$R_{\phi} = \frac{U_1}{I_{\kappa}} = \frac{1}{10^{-3}} = 1 \text{кОм}. \quad (4.6.12)$$

Определяем ёмкость конденсатора  $C_{\phi}$  :

$$C_{\phi} \geq \frac{10}{f_0 \cdot R_{\phi}} = \frac{10}{465 \cdot 10^3 \cdot 10^3} = 20 \text{нФ}. \quad (4.6.13)$$

Принимаем  $C_{\phi} = 0,033 \text{мкФ}$ .

Вычисляем напряжение на эмиттерном сопротивлении:

$$U_{RЭ} = E_{\kappa 0} - U_1 - U_{\kappa Э} = 9 - 1 - 5 = 3 \text{В}. \quad (4.6.14)$$

Ток базы:

$$I_{\phi 0} = (1 - h_{21\beta}) I_{\kappa 0} = (1 - 0,993) 10^{-3} = 7 \text{мкА}. \quad (4.6.15)$$

Вычисляем сопротивление резистора  $R_{\gamma}$  :

$$R_{\gamma} = \frac{U_{RЭ}}{I_{\kappa 0} + I_{\phi 0}} = \frac{3}{10^{-3} + 7 \cdot 10^{-6}} = 3 \text{кОм}. \quad (4.6.16)$$

Определяем ёмкость конденсатора  $C_{\gamma}$  :

$$C_{\gamma} \geq \frac{10}{f_0 \cdot R_{\gamma}} = \frac{10}{465 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^3} = 7 \text{нФ}. \quad (4.6.17)$$

Принимаем  $C_{\gamma} = 7500 \text{нФ}$ .

Положим  $U_{\phi Э 0} = 0,6 \text{В}$ . Тогда:

$$U_{R\delta 1} = U_{RЭ} + U_{\phi Э 0} = 3 + 0,6 = 3,6 \text{В}. \quad (4.6.18)$$

Ток через делитель в цепи базы:

$$I_n = 10 \cdot I_{\phi 0} = 70 \text{мкА}. \quad (4.6.19)$$

Тогда сопротивления в цепи базы рассчитываются следующим образом:

$$R_{\delta 1} = \frac{U_{R\delta 1}}{I_n} = \frac{3,6}{70 \cdot 10^{-6}} = 51,428 \text{кОм}; \quad (4.6.20)$$

$$R_{\delta 2} = \frac{E_{\kappa 0} - U_1 - U_{R\delta 1}}{I_n} = \frac{9 - 1 - 3,6}{70 \cdot 10^{-6}} = 62,857 \text{кОм}. \quad (4.6.21)$$

Сопротивления резисторов делителя базы выбираем из стандартного ряда сопротивлений:

$$R_{\delta 1} = 51 \text{кОм};$$

$$R_{\delta 2} = 62 \text{кОм}.$$

Характеристическое сопротивление контура :

$$\rho = \frac{159}{f_{np} \cdot C'_{\gamma}} = \frac{159}{0,465 \cdot 1375} = 0,25 \text{кОм} \quad (4.6.22)$$

Резонансный коэффициент усиления:

$$K_1 = Y_{21} \cdot \rho \cdot Q \cdot p_1 \cdot p_2 = 30 \cdot 0,25 \cdot 22 \cdot 0,179 \cdot 0,637 = 18,9 \quad (4.6.23)$$

## 2-й каскад УПЧ считаем по аналогии с первым.

В качестве активного элемента используем транзистор *КТ315Б*.

Рассчитаем сопротивления резисторов и ёмкости конденсаторов, обеспечивающих режим работы транзистора.

Произведем расчет по постоянному току:

$$U_{\varepsilon} = 0.2 \cdot E_k = 0.2 \cdot 8 = 1.6 \text{ (В)} \quad (4.6.24)$$

$$R_{\varepsilon} = \frac{U_{\varepsilon}}{10^{-3}} = 1.6 \cdot 10^3 \text{ (Ом)} \quad (4.6.25)$$

$$i_{\sigma} = \frac{i_{\varepsilon}}{h_{21}} = \frac{10^{-3}}{60} = 1.667 \cdot 10^{-5} \text{ (А)} \quad (4.6.26)$$

$$U_B = U_{\varepsilon} + 0.6 = 1.6 + 0.6 = 2.2 \text{ (В)} \quad (4.6.27)$$

$$i_{\text{дел}} = 10 \cdot i_{\sigma} = 10 \cdot 1.667 \cdot 10^{-5} = 1.667 \cdot 10^{-4} \text{ (А)}, \text{ где } h_{21} = 60. \quad (4.6.28)$$

Находим номиналы резисторов:

$$R_a = \frac{U_B}{i_{\text{дел}}} = \frac{2.2}{1.667 \cdot 10^{-4}} = 1.32 \cdot 10^4 \text{ (Ом)} \quad (4.6.29)$$

$$R_B = \frac{E_k - U_B}{i_{\text{дел}}} = \frac{8 - 2.2}{1.667 \cdot 10^{-4}} = 3.48 \cdot 10^4 \text{ (Ом)} \quad (4.6.30)$$

Принимаем  $R_a = 15 \text{ кОм}$ ,  $R_B = 33 \text{ кОм}$ .

Можно сделать вывод, что расчет произведен правильно.

Находим величину емкости:

$$C_{\varepsilon} = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot F_{ПЧ} \cdot R_{\varepsilon}} = \frac{100}{2 \cdot 3.14 \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 1.6 \cdot 10^3} = 2.282 \cdot 10^{-8} \text{ (Ф)} \quad (4.6.31)$$

Выберем  $C_{\varepsilon} = 22 \text{ нФ}$ .

Рассчитываем значение  $R_k$ :

$$R_k = \frac{E_k - U_{кэ} - U_{\varepsilon}}{I_{0к}} = \frac{8 - 3 - 1.6}{10^{-3}} = 3400 \text{ Ом}. \quad (4.6.32)$$

Принимаем  $R_k = 3,3 \text{ кОм}$ .

Выбираем значение емкости:

$$C_p = \frac{50 \cdot \sqrt{g_{11}^2 + b_{11}^2}}{2 \cdot \pi \cdot F_{ПЧ}} = \frac{50 \cdot \sqrt{(0.13 \cdot 10^{-3})^2 + (0.28 \cdot 10^{-3})^2}}{2 \cdot 3.14 \cdot 465 \cdot 10^3} = 5.283 \text{ (пФ)} \quad (4.6.33)$$

По ГОСТ выбираем  $C_p = 5.6 \text{ пФ} \pm 10\%$ .

Находим коэффициент усиления:

$$K_2 = \frac{y_{21}}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_k} + g_{11}\right)^2 + b_{11}^2}} = \frac{0.038}{\sqrt{\left(\frac{1}{3.3 \cdot 10^3} + 0.13 \cdot 10^{-3}\right)^2 + (0.28 \cdot 10^{-3})^2}} = 73. \quad (4.6.34)$$

### Рассчитаем 3-й каскад УПЧ.

Рассчитаем параметры избирательной системы.

Т.к. каскад должен быть широкополосным, то добротность избирательной системы должна быть малой. Пусть  $Q_s = 5$ .

По таблицам находим для заданного типа избирательной систем (одиночный резонансный контур) вспомогательные величины:

$$\Psi(1) = 1;$$

$$\Theta(1) = 2.22.$$

Эквивалентное затухание контура:

$$\delta_s = \frac{1}{Q_s} = \frac{1}{5} = 0,2. \quad (4.6.35)$$

Тогда минимально допустимая эквивалентная ёмкость рассчитывается следующим образом:

$$C'_s \geq \Delta C_m \frac{f_0}{\Pi} \Theta(1) = (5.85 + 7.5) \frac{465}{10} 2.22 = 1.375 \text{ нФ}. \quad (4.6.36)$$

Определяем индуктивность контурной катушки:

$$L = \frac{1}{(2\pi)^2 f_0^2 C_s} = \frac{1}{(2\pi)^2 (465 \cdot 10^3)^2 1375 \cdot 10^{-12}} = 85 \text{ мкГн}. \quad (4.6.37)$$

Пологая собственное затухание контуров равным  $\delta = 0,01$ , находим проводимости  $g$  и  $g_s$ :

$$g = \delta \omega_0 C_s = 0,01 \cdot 2\pi \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 1375 \cdot 10^{-12} = 4,01 \cdot 10^{-5} \text{ См}; \quad (4.6.38)$$

$$g_s = \frac{g \delta_s}{\delta} = \frac{4,01 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2}{0,01} = 0,8 \text{ мСм}. \quad (4.6.39)$$

Рассчитываем  $N$  и  $M$ :

$$N = 0,5 g \left( \frac{\delta_s}{\delta} - 1 \right) = 0,5 \cdot 4,01 \cdot 10^{-5} \left( \frac{0,2}{0,01} - 1 \right) = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ См}; \quad (4.6.40)$$

$$M = \delta_s n K_0 / (\delta Y_{21}) = \frac{0,2 \cdot 4,01 \cdot 10^{-5} \cdot 22}{0,01 \cdot 38 \cdot 10^{-3}} = 0,46. \quad (4.6.41)$$

Определяем коэффициенты включения контурной катушки:

$$p_1 = \sqrt{\frac{N}{g_{22}} - \sqrt{\frac{N^2}{g_{22}^2} - \frac{g_{11} M^2}{g_{22}}}} = \sqrt{\frac{0,38 \cdot 10^{-3}}{0,28 \cdot 10^{-6}} - \sqrt{\frac{(0,38 \cdot 10^{-3})^2}{(0,28 \cdot 10^{-6})^2} - \frac{0,38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,46^2}{0,28 \cdot 10^{-6}}}} = 0,34; \quad (4.6.42)$$

$$p_2 = \sqrt{\frac{N}{g_{11}} + \sqrt{\frac{N^2}{g_{11}^2} - \frac{g_{22} M^2}{g_{11}}}} = \sqrt{\frac{0,38 \cdot 10^{-3}}{0,38 \cdot 10^{-3}} + \sqrt{\frac{(0,38 \cdot 10^{-3})^2}{(0,38 \cdot 10^{-3})^2} - \frac{0,28 \cdot 10^{-6} \cdot 0,46^2}{0,38 \cdot 10^{-3}}}} = 1,4. \quad (4.6.43)$$

Полагая монтажные и паразитные ёмкости равными:

$$C_\kappa = C_{m1} = C_{m2} = 7,5 \text{ нФ},$$

Находим ёмкость в контуре:

$$C_n = C_s - C_\kappa - p_1^2 (C_{22} + C_{m1}) + p_2^2 (C_{11} + C_{m2}) = 1375 - 7,5 - 0,34^2 (19,5 + 7,5) + 1,4^2 (25 + 7,5) = 1428 \text{ нФ}. \quad (4.6.44)$$

Выбираем ёмкость из стандартного ряда:  $C_n = 1,6 \text{ нФ}$ .

$$L_{св} = L_\kappa \frac{p_2^2}{K_{св}^2} = 72 \frac{1,4^2}{0,8^2} = 220 \text{ мкГн} \quad (4.6.45)$$

Расчет по постоянному току такой же как и для 1-го каскада УПЧ.

Характеристическое сопротивление контура :

$$\rho = \frac{159}{f_{np} \cdot C'_s} = \frac{159}{0,465 \cdot 1375} = 0,25 \text{ кОм} \quad (4.6.46)$$

Резонансный коэффициент усиления:

$$K_3 = Y_{21} \cdot \rho \cdot Q \cdot p_1 \cdot p_2 = 26 \cdot 0,25 \cdot 5 \cdot 0,34 \cdot 1,4 = 15,47 \quad (4.6.47)$$

## 4.7 Расчёт АМ детектора

В качестве амплитудного детектора был выбран последовательный диодный детектор, работающий в режиме линейного детектирования, т.к. он имеет относительно большое входное сопротивление.

Схема детектора представлена на рис.6.

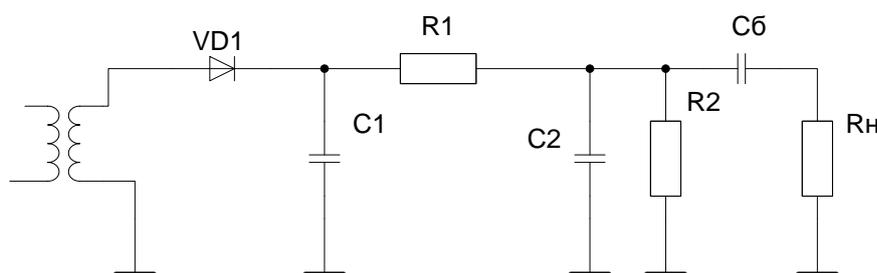


Рис.6. Схема последовательного детектора

Исходные данные для электрического расчёта:

- Напряжение несущей на входе детектора:  $U_{двх} = 0,5В$ .
- Максимальный коэффициент модуляции:  $m=0.8$ .
- Диапазон модулирующих частот:  $80...5000Гц$

Выбираем диоды с малым внутренним сопротивлением, малой ёмкостью и большим обратным сопротивлением:

Д9Б:  $R_i = 100\Omega$ ;  $R_{обр} = 400к\Omega$ ;  $C_d = 1нФ$ .

Определяем требуемое входное сопротивление детектора:

$$R_{вхд} = \frac{1}{g_{\Sigma}} = \frac{1}{0,95 \cdot 10^{-3}} = 1052\Omega. \quad (4.7.1)$$

Сопротивление нагрузки:

$$R_n \approx 2R_{вхд} = 2 \cdot 1052 = 2104\Omega. \quad (4.7.2)$$

Эквивалентная ёмкость нагрузки детектора:

$$C_n \leq \frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi F_{\max} R_n m} = \frac{\sqrt{1-0.8^2}}{2\pi \cdot 5000 \cdot 2,1 \cdot 10^3 \cdot 0.8} = 1нФ \quad (4.7.3)$$

Рассчитываем сопротивления резисторов  $R_1, R_2$ :

$$\begin{aligned} R_2 &= 0.5(1-m)R_n + \sqrt{0,25(1-m)^2 R_n^2 + (1-m)R_n R_{б\max}} = \\ &= 0.5(1-0.8) \cdot 2104 + \sqrt{0,25(1-0.8)^2 2104^2 + (1-0.8)2104 \cdot 1000} = 892\Omega \end{aligned} \quad (4.7.4)$$

Выбираем  $R_2 = 820\Omega$ .

$$R_1 = R_n - R_2 = 2104 - 820 = 1284\Omega. \quad (4.7.5)$$

Выбираем  $R_1 = 12000 \text{ Ом}$

Определяем ёмкости конденсаторов:

$$C_2 = \frac{5}{2\pi f R_1} - C_{м2} = \frac{5}{2\pi \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 1200} - 8 = 2 \text{ нФ}, \quad (4.7.6)$$

где  $C_{м2} = 8 \text{ нФ}$  – ёмкость монтажа.

$$C_1 = C_n - \frac{5}{2\pi f R_1} = 11 \cdot 10^{-9} - \frac{5}{2\pi \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 1200} = 1 \text{ нФ} \quad (4.7.7)$$

Выбираем  $C_1 = 1 \text{ нФ}$ .

$$C_0 \geq \frac{1}{2\pi F_{\min} R_0 \sqrt{M_n^2 - 1}} = \frac{1}{2\pi \cdot 125 \cdot 100 \sqrt{1,1^2 - 1}} = 95 \text{ мкФ} \quad (4.7.8)$$

Выбираем  $C_0 = 95 \text{ мкФ}$ .

## 4.8 Расчёт схемы АРУ

Согласно результата предварительного проектирования, системой АРУ следует охватить 3 каскада: УРЧ и 2 первых каскада УПЧ.

Будем использовать задержанную АРУ. В приёмнике 0 для системы АРУ применяется отдельный выпрямитель. Схема задержанной АРУ изображена на рисунке 4.8.

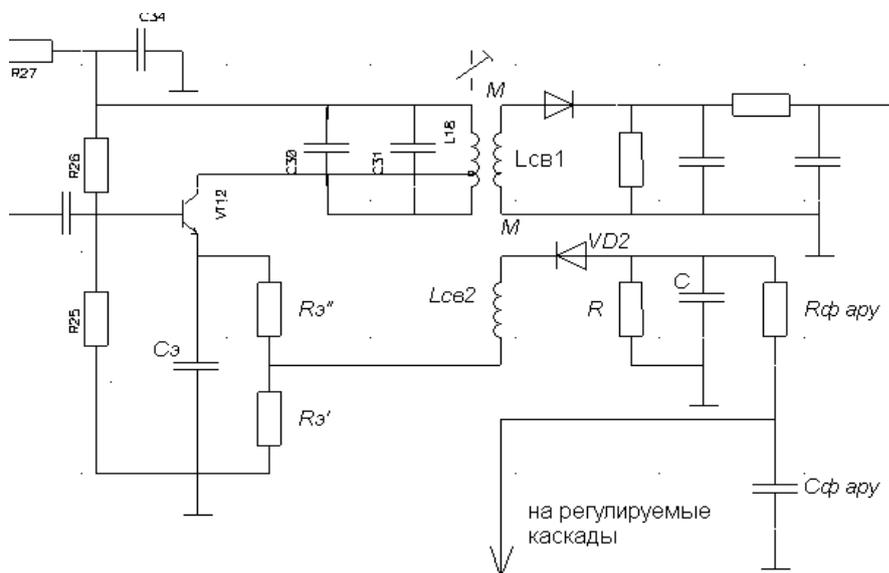


Рис.4.8. Схема задержанной АРУ

Выбираем диод выпрямителя АРУ типа Д9В.

Принимаем  $I_{к \min} = 100 I_{к \text{обр}} = 100 \text{ мкА}$ . Максимальный коллекторный ток примем равным  $I_{к \max} = 2 \text{ мА}$ .

Определяем параметра  $q$ :

$$q_{\min} = \frac{I_{\kappa \min}}{I_{\kappa \max}} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \quad (4.8.1)$$

Для максимального коллекторного тока принимаем:

$$Y_{21} = 2 \cdot 0,038 = 76 \text{ мСм}; \quad g_{11} = 0,76 \text{ мСм}; \quad g_{22} = 0,56 \text{ мкСм}; \quad C_{12} = 7 \text{ пФ};$$

$$g = 0,01 \cdot 6,28 \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 870 \cdot 10^{-12} = 25 \text{ мкСм}.$$

Рассчитаем сопротивление резистора фильтра АРУ:

$$R_{\phi \text{ АРУ}} \geq 20/g_{11} = \frac{20}{0,76 \cdot 10^{-3}} = 26 \text{ кОм}. \quad (4.8.2)$$

Выбираем  $R_{\phi \text{ АРУ}} = 27 \text{ кОм}$ .

Емкость фильтра конденсатора:

$$C_{\phi \text{ АРУ}} \geq \frac{10}{F_{\text{н}} R_{\phi \text{ АРУ}}} = \frac{10}{80 \cdot 27 \cdot 10^3} = 4,6 \text{ мкФ}. \quad (4.8.3)$$

Выбираем  $C_{\phi \text{ АРУ}} = 4,6 \text{ мкФ}$ .

Коэффициент управления:

$$N = \frac{I_{\kappa \max}}{U_2 K_y} (1 - q) = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0,8} (1 - 0,05) = 0,00237. \quad (4.8.4)$$

Полагаем  $U_2 = 1 \text{ В}$ . Коэффициент передачи цепи управления равен  $K_y = 0,8$ .

$$U_{2 \text{ ПР Е Д}} = \frac{I_{\kappa \max}}{N \cdot K_{\text{д2}}} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,00237 \cdot 0,8} = 1,05 \quad (4.8.5)$$

Возьмем

$$U_{2 \text{ макс}} = 0,88 \cdot U_{2 \text{ ПР Е Д}} = 0,88 \cdot 1,05 = 0,92 \text{ В} \quad (4.8.6)$$

$$U_{2 \text{ мин}} = U_{2 \text{ макс}} / 2,51 = 0,92 / 2,51 = 0,39 \text{ В} = E_3 \quad (4.8.7)$$

$$R_{\text{э}}' = E_3 / I_{\kappa \max} = 0,39 / 0,002 = 200 \text{ Ом} \quad (4.8.8)$$

$$R_{\text{э}}'' = R_{\text{э}} - R_{\text{э}}' = 3000 - 200 = 2,8 \text{ кОм} = 2,7 \text{ кОм} \quad (4.8.9)$$

Устойчивый коэффициент усиления:

$$K'_{0 \text{ усн}} = \sqrt{\frac{2(1 - k_y) Y_{21} q}{2\pi f C_{12}}} = \sqrt{\frac{2(1 - 0,9) 0,076 \cdot 0,05}{6,28 \cdot 465 \cdot 10^3 \cdot 7 \cdot 10^{-12}}} = 6,09. \quad (4.8.10)$$

Вычисляем коэффициенты включения:

$$p_1 = \sqrt{\frac{g}{qg_{22}} \left( \frac{\delta_{\text{э}}}{\delta} - 1 \right)} = \sqrt{\frac{25 \cdot 10^{-6}}{0,05 \cdot 0,56 \cdot 10^{-6}} \left( \frac{0,00095}{0,01} - 1 \right)} = 1. \quad (4.8.11)$$

Находим необходимую проводимость на выходе транзистора:

$$g'_{22} = g \left( \frac{\delta_{\text{э}}}{\delta} - 1 \right) = 25 \cdot 10^{-6} \left( \frac{0,054}{0,01} - 1 \right) = 110 \text{ мкСм}. \quad (4.8.12)$$

Необходимо установить шунтирующую проводимость:

$$g_{u'} = g_{22}' - qg_{22} = 110 - 0,05 \cdot 0,56 = 110 \text{ мкСм}. \quad (4.8.13)$$

$$R_{u'} = 9,1 \text{ кОм}.$$

Коэффициент включения  $p_2$ :

$$p_2 = \sqrt{\frac{g}{qg_{11}} \left( \frac{\delta_{\text{э}}}{\delta} - 1 \right)} = \sqrt{\frac{25 \cdot 10^{-6}}{0,05 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3}} \left( \frac{0,00095}{0,01} - 1 \right)} = 1. \quad (4.8.14)$$

При этих коэффициентах включения для максимального регулирующего напряжения будем иметь:

$$g_{1\text{э} \min} = g_{2\text{э} \min} = \frac{\delta_{\text{э}}}{\delta} g = \frac{0,00095}{0,01} 25 \cdot 10^{-6} = 2,3 \text{ мкСм}. \quad (4.8.15)$$

Минимальный коэффициент усиления каскада:

$$K_{0 \min} = \frac{p_1 p_2 Y_{21} q}{g_{2\text{э} \min}} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 38 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05}{2,3 \cdot 10^{-6}} = 826, \quad (4.8.16)$$

что больше устойчивого.

Снизим коэффициент включения:

$$p_2' = p_2 \frac{K_{\text{уст}}}{K_{0 \min}} = 1 \frac{6,09}{826} = 0,0073. \quad (4.8.17)$$

Глубина регулировки для УРЧ (таблица 11-12[4]):

$$\Gamma_{\text{УРЧ}} = \Gamma_{\kappa 1}' \cdot \Gamma_{\kappa \text{.пред}} \quad (4.8.18)$$

$$\Gamma_{\text{УРЧ}}' = 1 + \frac{(g + p_2'^2 \cdot g_{11 \max}) \left( \frac{1}{q} - 1 \right)}{g_{\text{э} \max}} = 1 + \frac{(25 \cdot 10^{-6} + 0,0073^2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-3}) \left( \frac{1}{0,05} - 1 \right)}{0,000063} = 8,6 \quad (4.8.19)$$

$$\Gamma_{\kappa \text{.пред}} = 1$$

Для первого каскада УПЧ:

$$\Gamma_{\kappa 2} = \Gamma_{\kappa 1}'' \cdot \Gamma_{\kappa \text{.пред}} \quad (4.8.20)$$

$$\Gamma_{\kappa 1}'' = \left( 1 + \frac{g \left( \frac{1}{q} - 1 \right)}{g_{\text{э} \max}} \right) \left( 1 - \frac{(g + p_2'^2 g_{22})(1-q)}{g_{\text{э} \max}} \right) = 8,6 \left( 1 - \frac{(25 \cdot 10^{-6} + 0,0073^2 \cdot 0,56 \cdot 10^{-6})(1-0,05)}{63 \cdot 10^{-6}} \right) = 8,25$$

Для второго каскада УПЧ:

$$\Gamma_{\kappa 2} = \Gamma_{\kappa 1}'' \cdot \Gamma_{\kappa \text{.пред}} \quad (4.8.21)$$

$$\Gamma_{\kappa 2} = \left( 1 + \frac{(g + p_2'^2 \cdot g_{11 \max}) \left( \frac{1}{q} - 1 \right)}{g_{\text{э} \max}} \right) \left( 1 - \frac{(g + p_2'^2 g_{22})(1-q)}{g_{\text{э} \max}} \right) = 8,6 \left( 1 - \frac{(25 \cdot 10^{-6} + 0,0073^2 \cdot 0,56 \cdot 10^{-6})(1-0,05)}{63 \cdot 10^{-6}} \right) = 8,25$$

Глубина регулирования всей системы АРУ:

$$\Gamma = \Gamma'_{\text{урч}} \Gamma_{\kappa 1} \Gamma_{\kappa 2} = 8,6 \cdot 8,25 \cdot 8,25 = 585 > \frac{10^{\frac{\alpha}{20}}}{10^{\frac{\rho}{20}}} = 398. \quad (4.8.22)$$

Таким образом, рассчитанная система АРУ обеспечивает заданную глубину регулирования усиления приёмника.

## Заключение

В данном курсовом проекте согласно заданию разработали радиовещательный переносной приемник нулевой группы сложности. Произвели расчет основных качественных показателей и полный электрический расчет блоков приемника для диапазона СВ. Выполнили конструктивный расчет магнитной антенны.

Разработанный РВП отвечает требованиям технического задания и обеспечивает необходимую чувствительность, избирательность и диапазон воспроизводимых частот.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радиоприёмные устройства. Учебник для вузов/ Н.Н.Фомин, Н.Н.Буга, О.В.Головин и др.; Под ред.Н.Н. Фомина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 520 с.: ил.
2. Головин О.В. Радиоприемные устройства. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 384 с.: ил.
3. Онищук А.Г., Забеньков И.И., Амелин А.М. Радиоприёмные устройства. Уч. пособие. Минск, ООО «Новые знания», 2005. – 240 с.