

МАИ Каферда 407
Задание на курсовой проект
Радиоприёмные устройства

№ _____

Студенту группы 14-502 Константинову Константину

- 1) Спроектировать приёмник связной самолётный УКВ-ЧМ
- 2) Составить и рассчитать структурную схему приёмника.
- 3) Провести электрический расчёт узлов преобразователь частоты, входная цепь
- 4) Исходные данные для проектирования:
 - рабочий диапазон частот 70-73 МГц
 - вид сигнала ЧМ, индекс модуляции 5
 - чувствительность 10 мкВ
 - ослабление побочных каналов приёма зеркальный 40 дБ, соседний 36 дБ
 - изменение уровня входного сигнала 30 дБ
 - уровень выходного сигнала и его изменение 1 В, 3 дБ
 - оконечная нагрузка выбрать
 - источник электроэнергии 27 В
 - условия эксплуатации -10⁰С, +50⁰С
- 5) Узел для конструирования по согласованию
- 6) Дополнительные требования и условия:
диапазон модулирующих частот 200 Гц — 3600 Гц

Дата выдачи задания: _____ Консультант: _____

Содержание:

1. Введение	3
1.1 Обзор	3
1.2 Выбор и обоснование структурной схемы приёмника	4
2. Расчёт структурной схемы	8
2.1 Расчёт полосы пропускания линейного тракта приёмника	8
2.2 Расчёт средств обеспечения избирательности	9
2.3 Расчёт средств обеспечения усиления	10
2.4 Расчёт устройств управления настройкой приёмника	12
3. Расчёт электрической принципиальной схемы	12
3.1 Расчёт входной цепи	12
3.2 Расчёт выходного контура УРЧ	13
3.3 Расчёт контуров гетеродина и смесителя	13
4. Расчёт основных характеристик приёмника	13
5. Используемые материалы	14
5.1 Литература	14
5.2 Ресурсы сети Интернет	14

1.Введение

1.1 Обзор.

Радиоприёмное устройство - устройство для приёма электромагнитных волн радиодиапазона с последующим преобразованием содержащейся в них информации к виду, в котором она могла бы быть использована.

В радиоприёмном устройстве решается ряд задач:

-) преобразование электромагнитной волны в электрический сигнал, обеспечение пространственной и поляризационной селекции;
-) выделение полученного сигнала из совокупности всех сигналов и помех, поступающих на вход радиоприёмника;
-) усиление полезного сигнала до уровня необходимого для нормальной работы детектора;
-) детектирование;
-) обработка принятых сигналов с целью ослабления воздействия помех искусственного и естественного происхождения.

Радиоприёмники можно классифицировать по ряду признаков:

-) По типу схемы (Детекторные; Прямое усиления; Сверхрегенеративные; Супергетеродинные)
-) По виду принимаемых сигналов (Непрерывные или Импульсные)
-) По назначению (Связные; Вещательные; Радиолокационные; Навигационные; Телеметрические; Радиорелейные)
-) По диапазону принимаемых частот

Название диапазона	Частоты
Мериаметровый	3-30 кГц
Километровый (ДВ)	30-300 кГц
Гектометровый (СВ)	300-3000 кГц
Декаметровый (КВ)	3-30 МГц
Метровый	30-300 МГц
Дециметровый	300-3000 МГц
Сантиметровый	3-30 ГГц
Миллиметровый	30-300 ГГц
Децимиллиметровый	300-3000 ГГц

-) По виду активных приборов (Ламповые; Транзисторные; Микросхемные)

1.2 Выбор и обоснование структурной схемы приёмника.

В данной работе будет использована супергетеродинная структурная схема, обладающая существенными преимуществами перед другими типами структурных схем и широко применяемая во всех диапазонах частот.

Достоинства супергетеродинных приёмников:

+)Высокая чувствительность

+)Высокая избирательность

Недостатки:

-)Сложность

-)Наличие паразитных каналов приёма (прямой и зеркальный)

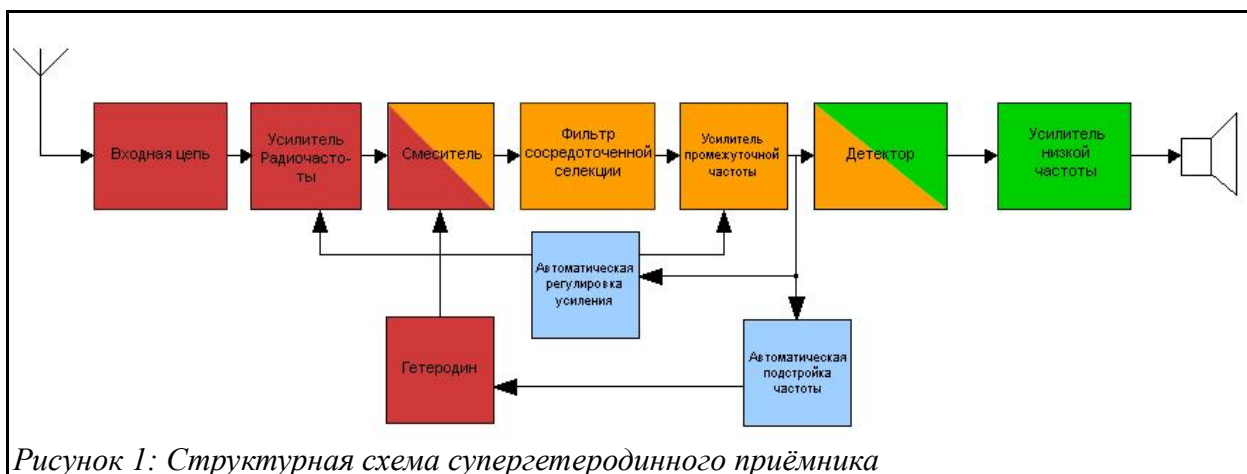


Рисунок 1: Структурная схема супергетеродинного приёмника

Автоматическая регулировка усиления (АРУ), применяется для поддержания уровней сигнала на выходе приемника в сравнительно малых пределах при больших и быстрых изменениях уровня сигнала на входе. Служит для предотвращения перегрузки каскадов сильными сигналами и появления нелинейных искажений. При введении АРУ расширяется динамический диапазон приемника. Принцип АРУ состоит в автоматическом изменении коэффициентов усиления отдельных элементов приемника при изменении уровня принимаемых сигналов или напряжения питания. Качество регулировки зависит от способа получения регулирующего напряжения, которое воздействует на соответствующие элементы тракта приемника, изменяет коэффициент усиления (передачи). Регулирующее напряжение должно зависеть не от мгновенного значения входного сигнала, а от среднего значения амплитуды (за время, значительно превышающее время изменения амплитуды под действием полезной информации).

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ), позволяет устранить расстройку приемника, вызванную нестабильностью частоты гетеродина, либо другими причинами. Система АПЧ работает следующим образом. Если разность частот гетеродина и сигнала не равна ПЧ приемника, вырабатывается соответствующее управляющее напряжение, воздействующее на гетеродин, и изменяющее его частоту так, чтобы разность частот сигнала и гетеродина приблизилась к ПЧ.

Для реализации супергетеродинной схемы я выбираю микросемы K174XA15 и K174УРЗ

Микросхема K174XA15 представляет собой многофункциональную микросхему для УКВ блоков радиоприёмных устройств. Предназначена для усиления и преобразования входных сигналов с частотой до 110 МГц в сигналы промежуточной частоты.

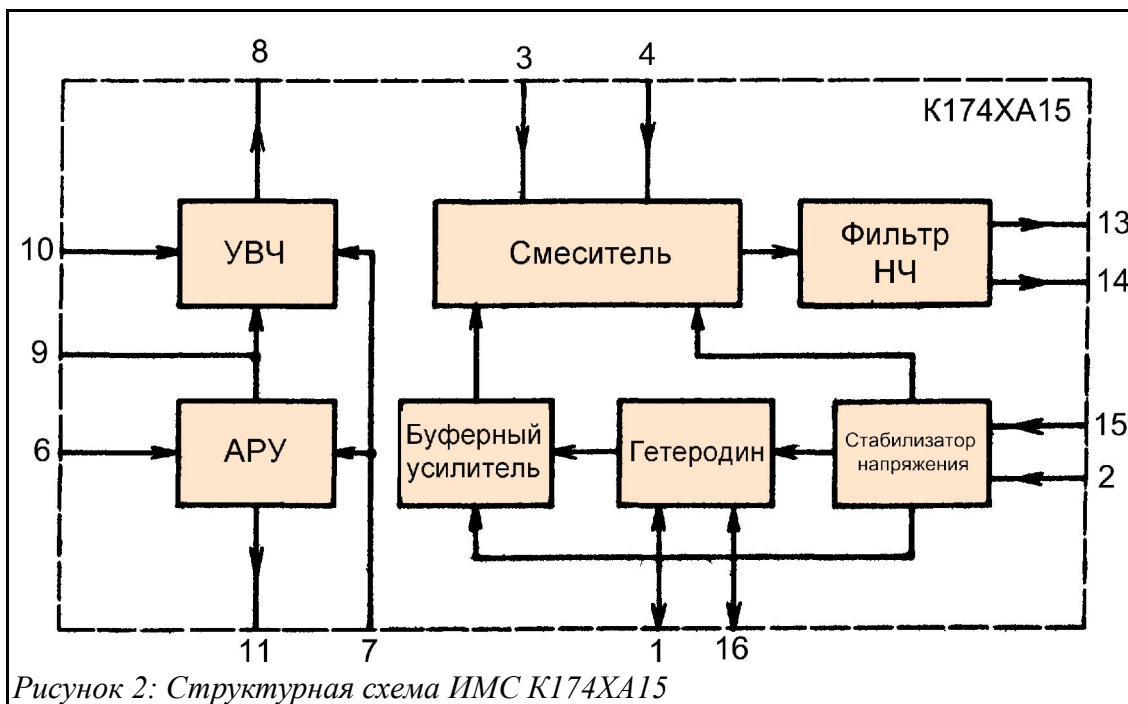


Рисунок 2: Структурная схема ИМС K174XA15

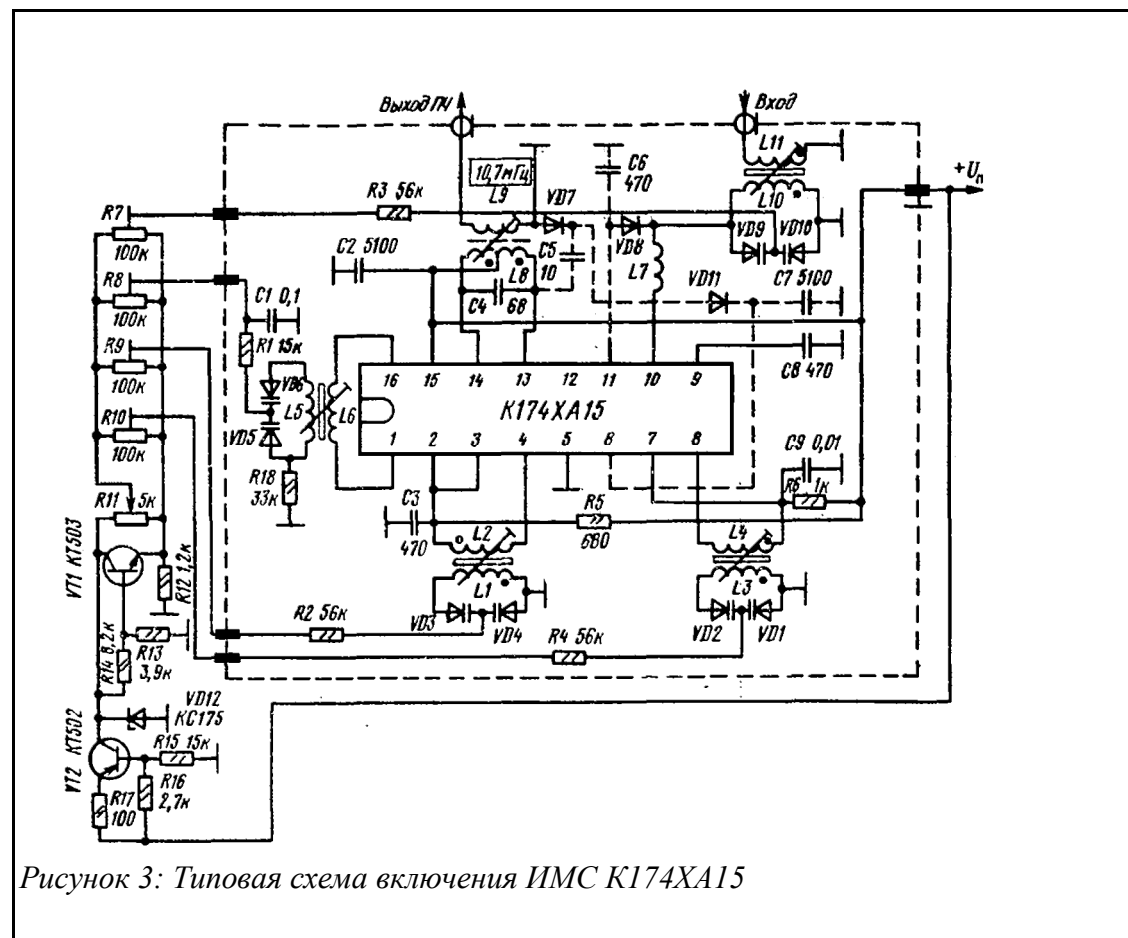


Рисунок 3: Типовая схема включения ИМС K174XA15

В типовой схеме включения:

1. Штриховыми линиями показаны цепи АРУ (необязательны).
2. Контуры L1 и L3 индуктивно связаны.

Основные технические характеристики:

Напряжение питания	8,5-15 В
Коэффициент усиления напряжения при $U_{п}=9$ В $f_c=69$ МГц $f_{пч}=10,7$ МГц $T=-25...+55^{\circ}$ С, не менее	22 дБ
Коэффициент шума при $U_{п}=9$ В $f_c=69$ МГц $T=-25...+55^{\circ}$ С не более	10 дБ
Максимальная частота входного сигнала	110 МГц

Микросхема К174УР3 представляет собой тракт обработки ЧМ сигналов промежуточной частоты. Содержит усилитель-ограничитель, синхронный демодулятор и предварительный усилитель низкой частоты.

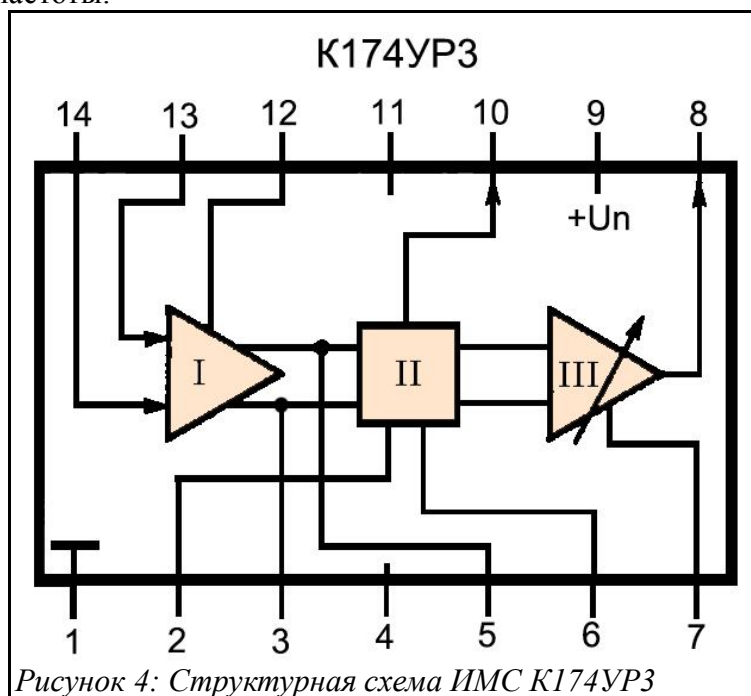


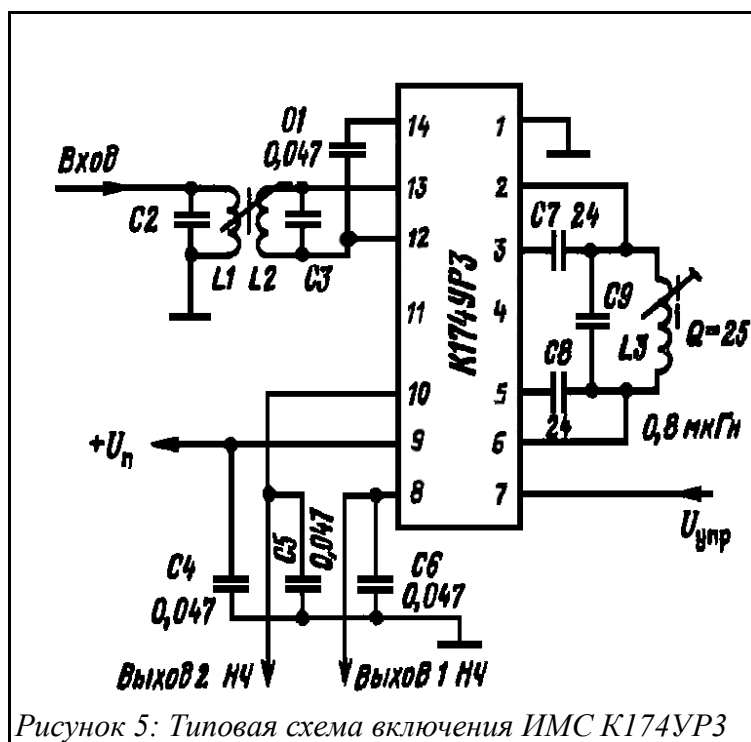
Рисунок 4: Структурная схема ИМС К174УР3

Функциональный состав:

I – усилитель-ограничитель

II – частотный детектор

III — предварительный усилитель низкой частоты



Основные технические характеристики:

Номинальное напряжение питания	6 В
Выходное напряжение НЧ, при $U_n=6$ В, $f_m=1$ кГц, $\Delta f=50$ кГц, $U_{вх}=1$ мВ не менее	100 мВ
Максимальное входное напряжение	300 мВ

Для обеспечения избирательности приёмника по соседнему каналу выбираю в качестве фильтра промежуточной частоты миниатюрный керамический фильтр L10.7 МА5.

Технические характеристики фильтра:

Центральная частота	10,7 МГц
Полоса пропускания по уровню 3 дБ	280 кГц
Потери	6 дБ
Избирательность по побочному каналу	30 дБ

Для обеспечения заданной избирательности по соседнему каналу необходимо использовать не менее чем 2 таких фильтра.

2.Расчёт структурной схемы.

2.1 Расчёт полосы пропускания линейного тракта приёмника

Ширина полосы пропускания линейного тракта ΔF складывается из ширины спектра сигнала ΔF_c , запаса для учёта нестабильности сигнала и гетеродина $\Delta F_{нс}$ и доплеровской поправки ΔF_d .

$$\Delta F = \Delta F_c + \Delta F_{нс} + 2\Delta F_d$$

$\Delta F_c = 2 * F_v * (1 + \Psi + \sqrt{\Psi})$, где F_v — максимальная модулирующая частота
 Ψ — индекс модуляции.

$$\Delta F_c = 2 * 3600 * (1 + 5 + \sqrt{5}) = 59,3 \text{ кГц}$$

Величина $\Delta F_{нс}$ определяется по формуле:

$$\Delta F_{нс} = 2 * \sqrt{(\delta f_c)^2 + (\delta f_g)^2 + (\delta f_n)^2 + (\delta f_{п})^2}$$
 , где

δf_c — нестабильность частоты сигнала

δf_g — нестабильность частоты гетеродина

δf_n — нестабильность настройки гетеродина

$\delta f_{п}$ — нестабильность настройки УПЧ

Найдём нестабильность частоты гетеродина:

Из справочника [2] находим график (1) зависимости нестабильности частоты гетеродина от температуры. Для расчёта возьмем наихудший случай — $T = 50^\circ \text{C}$

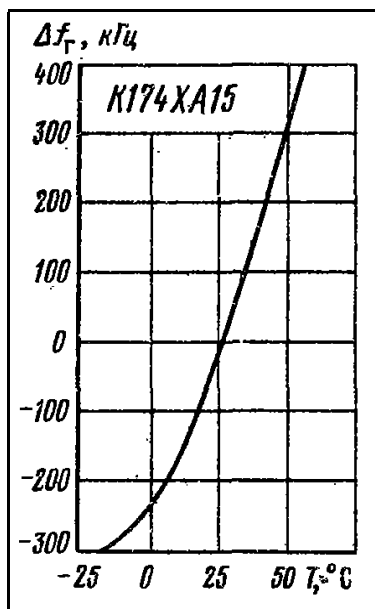


График 1: Зависимость нестабильности частоты гетеродина от температуры окружающей среды

Из графика 1 видно, что при данной температуре абсолютная нестабильность частоты гетеродина составит $\delta f_g = 300 \text{ кГц}$.

Относительную нестабильность частоты сигнала примем равной 10^{-6}

Вычислим нестабильность частоты сигнала:

$$\delta f_c = 73 * 10^6 * 10^{-6} = 73 \text{ Гц}$$

Т.к. Приёмник настроен по принимаемому сигналу, то $\delta f_{п} = 0$, $\delta f_n = 0$

Вычислим $\Delta F_{нс}$:

$$\Delta F_{нс} = 2 * \sqrt{(\delta f_c)^2 + (\delta f_g)^2 + (\delta f_n)^2 + (\delta f_{п})^2}$$

$$\Delta F_{нс} = 2 * \sqrt{(73)^2 + (300000)^2 + (0)^2 + (0)^2} = 600 \text{ кГц}$$

Вычислим доплеровскую поправку ΔF_d по формуле:

$\Delta F_d = (2 * V_p / c) * F_c$, где V_p — радиальная скорость, c — скорость света
Максимальная скорость сближения двух самолётов Су-27 составляет 5000 км/ч.

$$V_p = 5000 \text{ км/ч} = 1380 \text{ м/с}$$

$$\Delta F_d = (2 * 1380 / 3 * 10^8) * 73 = 671 \text{ Гц}$$

Вычислим полосу пропускания линейного тракта:

$$\Delta F = \Delta F_c + \Delta F_{nc} + \Delta F_d = 59300 + 600000 + 2 * 671 = 660642 \text{ Гц} = 660 \text{ кГц}$$

Сравним ширину спектра сигнала и запас по нестабильности:

$$\Delta F_c = 59,3 \text{ кГц} < \Delta F_{nc} = 600 \text{ кГц}$$

В данном случае необходимо ввести систему АПЧ.

Коэффициент частотной автоподстройки (Кчап) лежит в пределах 15...25.

Выберем Кчап=25.

При использовании АПЧ полоса пропускания линейного тракта приёмника считается по формуле:

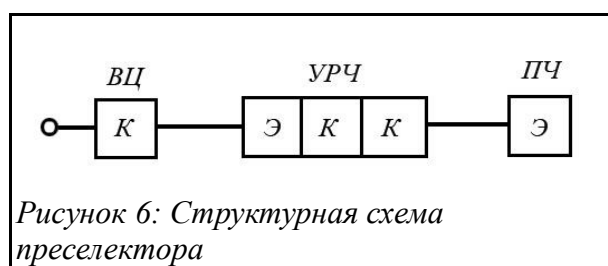
$$П = F_c + (2f_d + F_{nc}) / K_{чап}$$

$$П = 59300 + (2 * 671 + 600000) / 25 = 83354 \text{ Гц} = 83,3 \text{ кГц}$$

2.2 Расчёт средств обеспечения избирательности.

В супергетеродинном приёмнике преселектор должен обеспечивать избирательность по зеркальному каналу, а УПЧ должен обеспечивать избирательность по соседнему каналу.

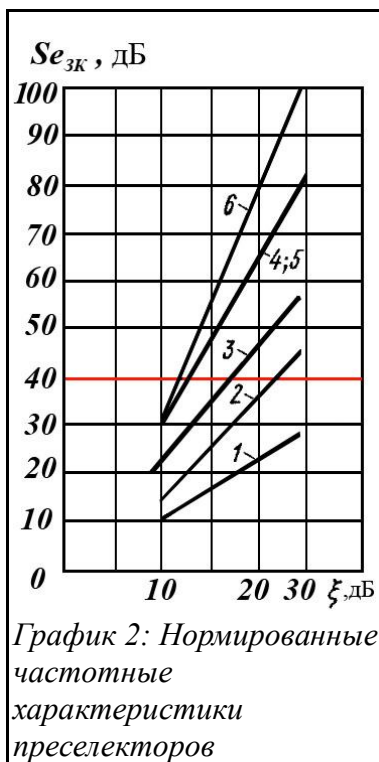
При использовании микросхемы К174ХА15 структурная схема соответствует приведённой на рисунке 6.



Найдём обобщенную расстройку зеркального канала по формуле:

$\xi_{зк} = 4 (f_n / f_c) * ((f_c - f_n) / (f_c - 2f_n)) / d_{эр}$, где $d_{эр}$ — эквивалентные затухания контуров преселектора ($d_{эр} \geq 0,02 \dots 0,01$)

$$\xi_{зк} = 4 (10,7 * 10^6 / 73 * 10^6) * ((73 * 10^6 - 10,7 * 10^6) / (73 * 10^6 - 2 * 10,7 * 10^6)) / 0,02 = 74,6 = 37 \text{ дБ}$$



Из графика 2 по кривой 4 видно, что при обобщенной расстройке в 37 дБ ослабление зеркального канала составит >80 дБ. Это превосходит требования, предъявляемые заданием.

При использовании керамического фильтра L10.7 МА5 избирательность по соседнему каналу составит 30 дБ (см. стр. 7), следовательно для удовлетворения требований необходимо использовать как минимум 2 таких фильтра.

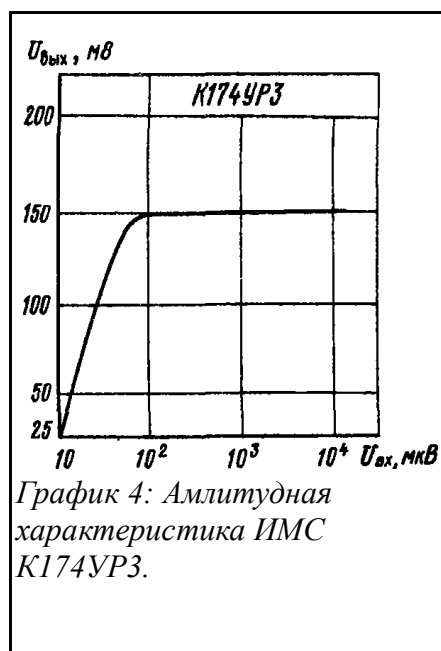
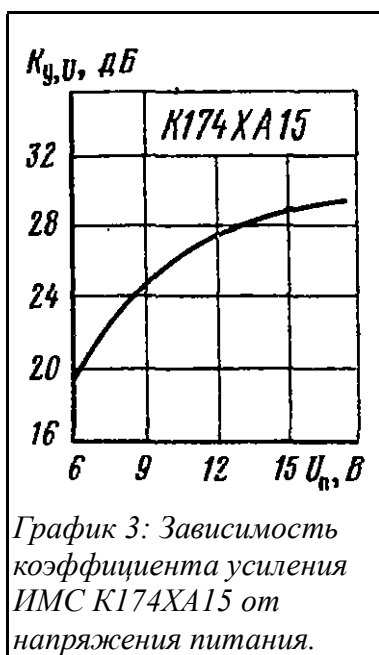
2.3 Расчёт средств обеспечения усиления.

Используемая микросхема К174ХА15 обеспечивает усиление примерно 27 дБ при напряжении питания 12 В. Это видно из графика 3. 27дБ соответствует усилению в 500 раз.

Следовательно на выходе микросхемы К174ХА15 амплитуда сигнала будет:

$U_{\text{вых.см.}} = K_{\text{вц.}} * K_{\text{у.х.а15}} * E_{\text{а}}$, где $K_{\text{вц.}}$ - коэффициент передачи входной цепи ($\leq 0,8$); $K_{\text{у.х.а15}}$ — коэффициент усиления микросхемы К174ХА15; $E_{\text{а}}$ — э.д.с. сигнала в антенне.

$$U_{\text{вых.см.}} = 0,8 * 500 * 10 * 10^{-6} = 4 \text{ мВ}$$



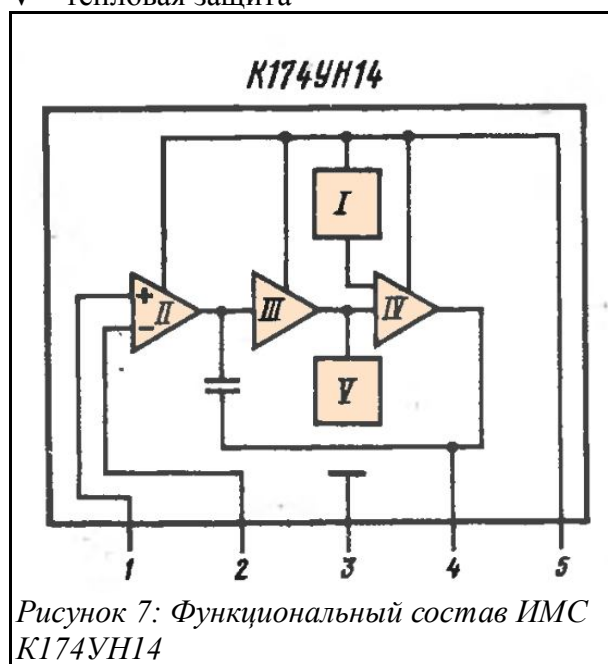
По графику 4 видно, что при входном сигнале 4 мВ на выходе микросхемы К174УР3 будет сигнал с амплитудой 150 мВ.

Т.к. в задании требуется амплитуда выходного сигнала 1 В, то необходимо после микросхемы К174УР3 включить дополнительную схему УНЧ.

В качестве УНЧ выбираю микросхему К174УН14.

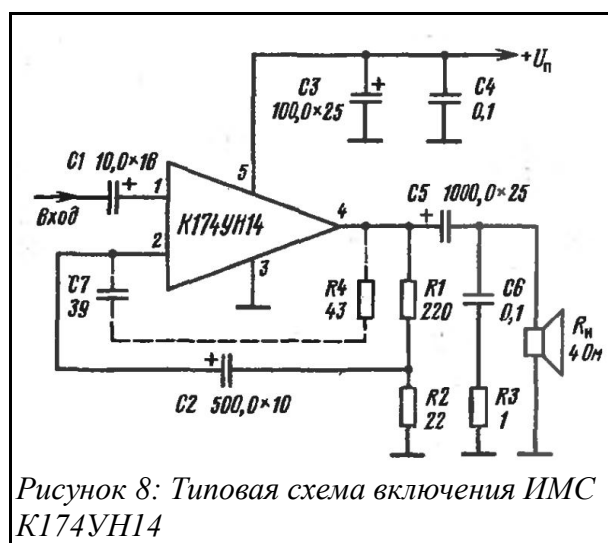
Микросхема представляет собой усилитель мощности НЧ с номинальной выходной мощностью 4,5 Вт на нагрузке 4 Ом. Усилитель имеет встроенную тепловую защиту и защиту от коротких замыканий на выходе.

Функциональный состав (рисунок 7): I - устройство защиты от перегрузок
 II – предварительный усилитель
 III — управляющий каскад
 IV — мощный выходной каскад
 V – тепловая защита



Основные характеристики микросхемы K174УН14

Напряжение питания	13,5...16,5 В
Номинальная выходная мощность, при $U_{п}=13,5$ В, $f=1$ кГц, $K_{г}=10\%$ $R_{н}=4$ Ом, $T=+25^{\circ}$ С	4,5 Вт
Коэффициент усиления напряжения при $U_{п}=15$ В, $U_{вх}=10$ мВ, $f=1$ кГц, $R_{н}=4$ Ом, $T=+25^{\circ}$ С	40 дБ (100 раз)



2.4 Расчёт средств управления настройкой приёмника

В типовой схеме включения ИМС К174ХА15 (см. рис 3 стр. 5) используется способ настройки варикапами.

Из документации [8] найдём параметры катушек индуктивностей и варикапов.

Частота настройки	Напряжение на варикапе	Ёмкость варикапа
88 МГц	2	40
108 МГц	7,5	25

Т.к. используется встречное включение варикапов, то ёмкость включённая в контур будет в 2 раза меньше ёмкости варикапа.

Для пересчёта схемы на диапазон частот 70-73 МГц найдём индуктивность контурной катушки:

$$F = 1/2 * \pi * \sqrt{LC} \rightarrow L = 1/F^2 * 4 * \pi^2 * C$$

$$L = 1/(108 * 10^6)^2 * 4 * \pi^2 * 25 * 10^{-12} = 0,85 \text{ мкГ}$$

Найдём минимальную и максимальную ёмкость в контуре для диапазона частот 70-73 МГц:

$$C = 1/F^2 * 4 * \pi^2 * L$$

$$C_{\max} = 1/(70 * 10^6)^2 * 4 * \pi^2 * 85 * 10^{-9} \approx 65 \text{ пФ}$$

$$C_{\min} = 1/(73 * 10^6)^2 * 4 * \pi^2 * 85 * 10^{-9} \approx 55 \text{ пФ}$$

Т.к. используется встречное включение варикапов, то ёмкость варикапов должна быть в 2 раза больше рассчитанной ёмкости в контуре:

$$C_{\min} \approx 110 \text{ пФ}$$

$$C_{\max} \approx 130 \text{ пФ}$$

Данному диапазону изменения ёмкости соответствует варикап KB104E:

$$C_{\min} \approx 95 \text{ пФ}$$

$$C_{\max} \approx 143 \text{ пФ}$$

3. Расчёт электрической принципиальной схемы

3.1 Расчёт входной цепи

Расчёт элементов входной цепи был проведён в пункте 2.4

Также из [3] известны точные данные катушек:

Обозначение	Число витков	Диаметр провода, мм
L10	7	0,5
L11	1,75	0,25

3.2 Расчёт выходного контура УРЧ

В выходном контуре УРЧ применяем те же варикапы, что и во входной цепи.

Из литературы [3] известны точные данные катушек выходного контура УРЧ:

Обозначение	Число витков	Диаметр провода, мм
L3	6	0,5
L4	3,75	0,25

Выходной контур УРЧ связан с входным контуром смесителя индуктивной связью.

3.3 Расчёт контуров гетеродина и смесителя

В контурах гетеродина и смесителя применяем те же варикапы, что и во входной цепи.

Из литературы [3] известны точные данные катушек гетеродина и смесителя:

Обозначение	Число витков	Диаметр провода
L1	6	0,5
L2	6	0,5
L5	6	0,5
L6	3	0,25
L8	2x15 бифилярно	0,15
L9	2	0,25

4. Расчёт основных характеристик приёмника

Рассчитаем коэффициент шума приёмника по формуле:

$N_{np} = (1/K_{вц}) + (N_{урч.пч.} - 1/K_{вц})$, где $K_{вц}$ - коэффициент передачи входной цепи
 $N_{урч.пч.}$ — коэффициент шума микросхемы K174XA15

$$K_{вц} = 0.8 \quad N_{урч.пч.} = 10 \text{ дБ} = 10$$

$$N_{np} = (1/0,8) + (10 - 1/0,8) = 12,5$$

Зная коэффициент шума приёмника можем определить его чувствительность по формуле:

$E = \sqrt{4 * k * R_a * T * \Pi * D_o * (N_{np} + T_{отн} - 1)}$, где k — постоянная Больцмана; T — стандартная температура приёмника; R_a — сопротивление приёмника; Π — полоса пропускания приёмника; D_o — коэффициент различимости; N_{np} — коэффициент шума приёмника;

$T_{отн}$ — относительная шумовая температура приёмника на частоте 73 МГц.

$$E = \sqrt{4 * 1,38 * 10^{-23} * 50 * 300 * 83300 * 15,8 * (12,5 + 6,6 - 1)} = 4,4 \text{ мкВ}$$

Чувствительность приёмника выше, чем требуется в задании, следовательно требование по чувствительности выполнено.

5. Используемые материалы

5.1 Литература

1. Проектирование радиоприёмных устройств. А.П.Сиверс, «Советское радио» 1976г.
2. Справочник. Полупроводниковые приборы. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры. И.В. Новаченко «КУБК-а» 1996г.
3. Справочник. Микросхемы. Элементы схем бытовой радиоаппаратуры. Массовая радиобиблиотека. А.В. Нефедов «Радио и связь» 1995г.
4. Справочник. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Н.Н. Горюнов «Энергоатомиздат» 1983г.
5. Я строю супергетеродин. Массовая радиобиблиотека. А.Г. Соболевский «Энергия» 1971г.
6. Современный радиовещательный приёмник. Массовая радиобиблиотека. Л.М. Кононович «Радио и связь» 1986г.
7. Журнал «Радио»
8. Документация на микросхему TDA1062

5.2 Ресурсы сети Интернет

1. Википедия ru.wikipedia.org
2. Розничный магазин по продаже электронных компонентов «Чип и Дип» chipdip.ru
3. Розничный магазин по продаже электронных компонентов «Платан» platan.ru
4. РадиоКОТ – радиолобительский форум radiokot.ru
5. Отечественная радиотехника 20 века rwbases.narod.ru
6. Музей электронных раритетов 155la3.ru