

## *Введение.*

### *1.1. Состав, обоснование и расчет структурной схемы приемника.*

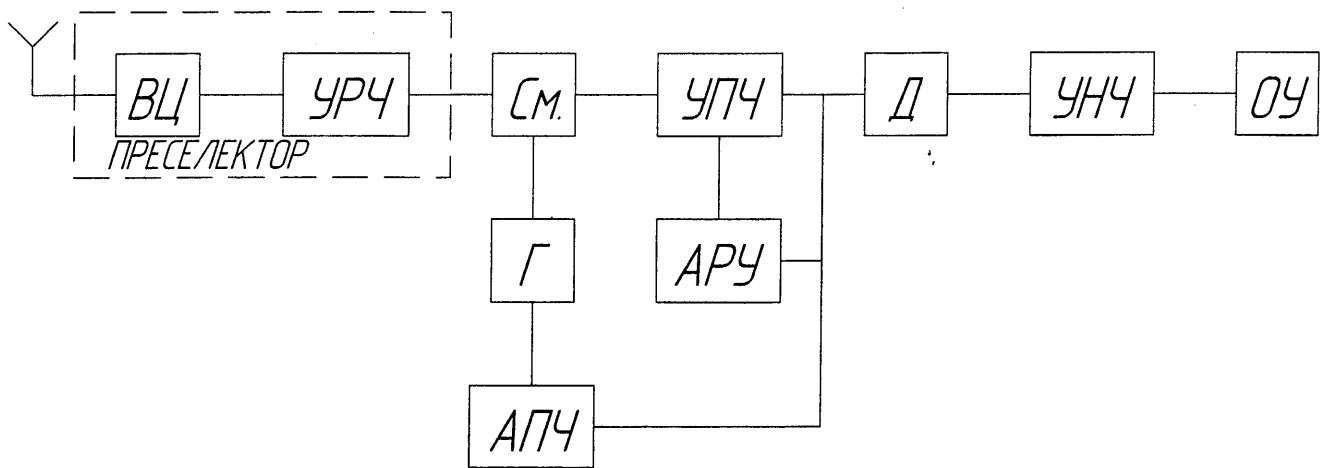
Радиоприемное устройство состоит из приемной антенны, радиоприемника и оконечного устройства, предназначенного для воспроизведения сигналов. Радиоприемное устройство является неотъемлемой частью любой радиотехнической системы.

Импульсные радиолокационные приемно-передающие станции обычно излучают зондирующие радиоимпульсы с фиксированными периодом 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.

Основные функции, выполняемые РПрУ:

1. Преобразование электромагнитного поля сигнала в высокочастотные токи или напряжения. Для этой функции служит приемная антенна.
2. Выделение колебаний несущей частоты и эффективное подавление сигналов других частот, т.е. осуществление частотной избирательности сигнала, эта задача осуществляется избирательными системами.
3. Детектирование принятого сигнала, т.е. выделение напряжения соответствующего модулирующему сигналу. Эта задача в зависимости от вида модуляции сигнала решается амплитудным, частотным или фазовым детектором.
4. Ослабление мешающего действие помех, т.е. обеспечение помехоустойчивого приема. Такой прием обеспечивается за счет соответствующего выбора электрических характеристик отдельных блоков радиоприемника и введения специальных схем обработки принимаемых колебаний.
5. Усиление принятого сигнала с целью обеспечения нормальной работы исполнительного устройства, воспроизводящего принятое сообщение. В общем случае усиление может производиться в трактах как высокой, так и низкой частоты.

В схеме супергетеродинного приемника усиление производится на одной фиксированной частоте (промежуточной частоте), которая намного меньше частоты сигнала. За счет этого улучшается избирательность приемника и качество принимаемого сигнала, что соответствует нашим заданным требованиям на проектирование.



**ВЦ** – входная цепь, предназначенная для согласования выхода антенны с УРЧ для получения максимальной мощности из антенны, обеспечивает избирательность по паразитным каналам;

**УРЧ** – усилитель радиочастоты, являющийся основным блоком обеспечения усиления и фильтрации по частоте от помех;

**ПЧ** – преобразователь частоты, который состоит из смесителя и гетеродина, в нем происходит изменение несущей частоты сигнала;

**См.** – смеситель, устройство, осуществляющее преобразование частоты подводимого к нему сигнала в результате периодического изменения его параметров под воздействием колебаний от местного генератора;

**Г** – гетеродин, вспомогательный генератор гармонических колебаний, используемый для преобразования несущей частоты сигналов в радиоаппаратуре;

**УПЧ** – усилитель промежуточной частоты, усилитель сигналов промежуточной частоты, поступающих с ПЧ;

**АРУ** – автоматическая регулировка усиления, применяется для поддержания уровней сигнала на выходе приемника в сравнительно малых пределах при больших и быстрых изменениях уровня сигнала на входе. Это необходимо, чтобы избежать перегрузки каскадов сильными сигналами и появления нелинейных искажений. При введении АРУ расширяется динамический диапазон приемника. Принцип АРУ состоит в автоматическом изменении коэффициентов усиления (или передачи) 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).

В РЛС, как правило, применяется система АРУ обратного регулирования, в которой регулирующее напряжение вырабатывается выпрямителем выходного напряжения УПЧ и подается для регулировки усиления предшествующих выпрямителю каскадов.

**АПЧ** – автоматическая подстройка частоты, позволяет устранять расстройку приемника, вызванную нестабильностью частоты гетеродина и другими причинами. Система АПЧ работает следующим образом. Если разность частот гетеродина и сигнала не равна ПЧ приемника, вырабатывается соответствующее управляющее напряжение, воздействующее на частоту гетеродина и изменяющее ее так, чтобы эта разность приблизилась к промежуточной частоте.

**ВУ** – видеоусилитель, широкополосный усилитель видеосигналов.

**ОУ** – оконечное устройство, для воспроизведения информации в необходимом для восприятия виде.

## 1.2 Расчет необходимой полосы пропускания.

Ширина полосы пропускания линейного тракта  $\Pi$  складывается из ширины спектра радиочастот принимаемого сигнала ( $\Pi_c$ ), доплеровского смещения частоты ( $\Delta f_o$ ) и запаса полосы, требуемого для учета нестабильности и неточностей настроек приемника ( $\Pi_{nc}$ ), т.е.

$$\Pi = \Pi_c + 2\Delta f_o + \Pi_{nc}$$

Величина  $\Pi_{nc}$  определяется по формуле:

$$\Pi_{nc} = 2\sqrt{(\delta f_c)^2 + (\delta f_z)^2 + (\delta f_n)^2 + (\delta f_n)^2},$$

где  $\delta f_c$  и  $\delta f_z$  - нестабильности частот сигнала  $f_c$  и гетеродина  $f_z$ ;

$\delta f_n$  и  $\delta f_n$  - неточности настроек частот гетеродина  $f_z$  и УПЧ  $f_n$ .

$$\delta f_c = 5\text{МГц} = 5 \cdot 10^6 \text{ Гц} \quad (2)$$

Относительную нестабильность частоты гетеродина  $\frac{\Delta f_z}{f_z}$  можно определить из (1), табл. 1.1. на диоде Ганна.

$$\frac{\Delta f_z}{f_z} = \alpha = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$f_z = f_c + f_n$$

$$f_c = 7,2[\text{ГГц}] - \text{задано.}$$

$f_n = 60 \text{ МГц}$  - промежуточная частота (выбираем)

$$f_z = 7,2 \cdot 10^9 + 60 \cdot 10^6 = 7,26 \cdot 10^9 \text{ Гц} = 7,26 \text{ ГГц}$$

$$\delta f_z = \alpha \cdot f_z = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 7,26 \cdot 10^9 = 1,452 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

Вычислим  $\Pi_{nc}$ :

$\delta f_n = 0$  (т.к. осуществляется настройка приемника по принимаемым сигналам)

$\delta f_n = 0$  (предполагаем)

$$\Pi_{nc} = 2\sqrt{(\delta f_c)^2 + (\delta f_z)^2} = 2\sqrt{(5 \cdot 10^6)^2 + (1,452 \cdot 10^7)^2} = 3,07 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

Вычислим ширину полосы пропускания:

так как передатчик и приемник неподвижны относительно друг друга, то  $\Delta f_d = 0$

$$\Pi = \Pi_c + \Pi_{nc} = 1,27 \cdot 10^6 + 3,7 \cdot 10^7 = 3,197 \cdot 10^7 \text{ Гц}$$

Определим ширину спектра радиочастот принимаемых сигналов:

$$\Pi_c = \frac{1,37}{\tau_u} = \frac{1,37}{1,08 \cdot 10^{-6}} = 1,27 \cdot 10^6 \text{ Гц},$$

где  $\tau_u$  - длительность импульса (задана).

Для повышения чувствительности приемника и сужения его полосы осуществляем автоподстройку частоты гетеродина под частоту передатчика с помощью двухканальной АПЧ:

$$\Pi = \Pi_c + \frac{\Pi_{nc}}{K_{АП}} = 1,27 \cdot 10^6 + \frac{3,07 \cdot 10^7}{25} = 2,498 \cdot 10^6 \text{ Гц},$$

где  $K_{АП} = 25$  (2)

При использовании автоподстройки частоты гетеродина полосу пропускания ВЧ и УРЧ (преселектора)  $\Pi_{np}$  нужно определить из соотношения:

$$\Pi_{np} = \Pi_c + 2(\Delta f_c) = 1,27 \cdot 10^6 + 10 \cdot 10^6 = 11,27 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

### 1.3 Выбор первых каскадов.

Перейдем к выбору первых каскадов приемника, обеспечивающих заданную чувствительность.

Вычислим допустимый коэффициент шума:

$$N_d = \frac{P_c}{qkT_0\Pi_w} + 1 - t_A,$$

где  $P_c = 1 \cdot 10^{-13} \text{ Вт}$  - чувствительность приемника (задана),

$q = 5$  - отношение сигнал/шум (задано),

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/}^\circ\text{К}$  - постоянная Больцмана,

$T_0 = 290^\circ\text{К}$  - стандартная температура приемника,

$\Pi_w = 1,1\Pi_{АП}$  - шумовая полоса линейного тракта,

$$t_A = \frac{T_A}{T_0} = \frac{100}{290} = 0,34$$

$T_A$  - шумовая температура антенны ((1) стр. 13, рис.1.4)

$$P_{ш} = 1.1 \cdot 2.498 \cdot 10^6 = 2.75 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

$$N_0 = \frac{1 \cdot 10^{-13}}{5 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 2.75 \cdot 10^6} + 1 - 0.34 = \frac{10^3}{784.03} + 0.66 = 2.477$$

Рассчитаем коэффициент шума самого супергетеродинного приемника, так как  $N_0 < 5$ , то будем ставить МШУ (2):

$$N_0 = \frac{1}{K_{рВЦ} \cdot K_{рФ}} \left( N_{МШУ} + \frac{N_{СМ} - 1}{K_{рМШУ}} + \frac{N_{УПЧ} - 1}{K_{рМШУ} \cdot K_{рСМ}} \right),$$

где  $K_{рВЦ} = 0.8$  - коэффициент передачи по мощности входной цепи (2)

$K_{рФ} = L_{Ф} = 10^{-0.1\beta_{Ф}l_{Ф}}$  - коэффициент передачи мощности антенного фидера

$\beta_{Ф} = 0.1$  - погонное затухание ((1) стр. 15, табл. 1.2)

$l_{Ф} = 1.5 \text{ м}$  - длина фидера

$L_{Ф} = 10^{-0.1 \cdot 0.1 \cdot 1.5} = 10^{-0.015} = 0.966$

$N_{МШУ} = 1.15 \div 1.5$  ((1) стр.16, табл. 1.3) выбираем 1.35

В качестве МШУ возьмем усилительный параметрический регенеративный каскад с полупроводниковым диодом без охлаждения.

$N_{СМ} = 3.4$  ((1), стр. 476)

$N_{УПЧ} = 2$  ((1), стр. 476)

$K_{рМШУ} = 30 \div 300$  ((1), табл. 1.3) выбираем 100

$K_{рСМ} = 0.3$  ((1), стр. 475)

$$N_0 = \frac{1}{0.8 \cdot 0.966} \left( 1.35 + \frac{3.4 - 1}{100} + \frac{2 - 1}{100 \cdot 0.3} \right) = 1.29(1.35 + 0.024 + 0.03) = 1.81$$

$N_0 = 1.8 < N_0 = 2.477$ , таким образом решение об использовании МШУ было принято правильно.

Рассчитаем мощность на входе УПЧ:

$$P_{вх.УПЧ} = (K_{рФ} \cdot K_{рВЦ} \cdot K_{рМШУ} \cdot K_{рСМ}) \cdot P_c = (0.966 \cdot 0.8 \cdot 100 \cdot 0.3) \cdot 1 \cdot 10^{-13} = 2.32 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}$$

#### **1.4 Выбор средств обеспечения избирательности приемника.**

Обобщенная расстройка по зеркальному каналу:

$$\xi_{ЗК} = 4 \left( \frac{f_n}{f_c} \right) \left[ \frac{(f_c + f_n)}{(f_c + 2f_n)} \right] / d_{ЭР}$$

- при верхней настройке гетеродина

$$\xi_{ЗК} = 4 \left( \frac{f_n}{f_c} \right) \left[ \frac{(f_c - f_n)}{(f_c - 2f_n)} \right] / d_{ЭР}$$

- при нижней настройке гетеродина.

$d_{ЭР} \geq 0.01 \dots 0.005$  - эквивалентное затухание ((1), стр. 26) выбираем 0.01

$$\xi_{3K} = 4 \left( \frac{60 \cdot 10^6}{7.2 \cdot 10^9} \right) \left[ \frac{(7.2 \cdot 10^9 + 60 \cdot 10^6)}{(7.2 \cdot 10^9 + 2 \cdot 60 \cdot 10^6)} \right] / 0.01 = 3.306$$

$$\xi_{3K} = 4 \left( \frac{60 \cdot 10^6}{7.2 \cdot 10^9} \right) \left[ \frac{(7.2 \cdot 10^9 - 60 \cdot 10^6)}{(7.2 \cdot 10^9 - 2 \cdot 60 \cdot 10^6)} \right] / 0.01 = 3.362$$

по рис. 1.11 ((1), стр. 25)  $n=4$  (полосовой фильтр из 4 связанных контуров).

### 1.5 Выбор средств обеспечения усиления линейного тракта.

Коэффициент усиления линейного тракта должен быть равен:

$$K_{оп} = \frac{U_p}{\sqrt{2P_c \cdot R_A}} = \frac{0.9}{\sqrt{2 \cdot 10^{-13} \cdot 50}} = 0.28 \cdot 10^6,$$

где  $R_A = 50 \text{ Ом}$  - активное сопротивление антенны (задано)

$$U_{\text{вых.УПЧ}} = U_n = U_{\text{ex.д}} = 0.9 \text{ В}$$

Амплитуда напряжения промежуточной частоты на выходе диодного полупроводникового смесителя (на входе УПЧ) при согласовании:

$$U_{\text{Пвх}} = \sqrt{\frac{2P_c \cdot K_{\text{рВЦ}} \cdot K_p^n \cdot K_{\text{рПЧ}} \cdot L_\Phi}{g_{\text{ex}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-13} \cdot 0.8 \cdot 100 \cdot 0.3 \cdot 0.966}{4.13 \cdot 10^{-3}}} = 33.5 \text{ мкВ}$$

$g_{\text{ex}} = g_{11}$  - активная входная проводимость 1-го каскада УПЧ (из расчета  $U$  - параметров предварительно намеченного транзистора).

Требуемый коэффициент усиления УПЧ по напряжению:

$$K_{\text{опт}} = \frac{U_n k_3}{U_{\text{н.вх}}} = \frac{0.9 \cdot 2}{33.5 \cdot 10^{-6}} = 53731.34 = 5.37 \cdot 10^4,$$

где  $k_3 = 1.5 \div 3$  (2) выбираем 2.

### 1.6. Предварительный расчет детектора.

Для детектирования радиоимпульсов, т.е. для преобразования их в видеоимпульсы, используем последовательные диодные детекторы, выполненные по схеме, приведенной на рис.2. Для детектирования используем диод Д2В со следующими параметрами:  $R_i = 120 \text{ Ом}$  и  $C_D = 1 \text{ нФ}$ .

Емкость нагрузки  $C'_n = 10C_D = 10 \cdot 1 = 10 \text{ нФ}$ .

Емкость конденсатора  $C_n = 10C_D - C_M = 10 \cdot 1 - 3 = 7 \text{ нФ}$ ,

а сопротивление нагрузки  $R_n = \frac{\tau_c}{2.3C'_n} = \frac{0.108 \cdot 10^{-6}}{2.3 \cdot 10 \cdot 10^{-13}} = 5.34 \text{ кОм}$ .

Находим  $\frac{R_n}{R_i} = \frac{5340}{120} = 44.5$  и из (1), рис. 9.2 определяем  $K_D = 0.82$ , а из (1), рис 9.5

$$\frac{R_{ex.D}}{R_i} = 20 \text{ и } R_{ex.D} = 2.4 \text{кОм.}$$

$$R_n C_n \gg \frac{(1...2)}{f_n}$$

Проверяем соотношение  $5.34 \cdot 10^3 \cdot 7 \cdot 10^{-12} = 37.38 \cdot 10^{-9}$

$$\frac{1}{60 \cdot 10^6} = 1.7 \cdot 10^{-8}$$

На выходе нам надо получить 3,2В (по заданию)

$$K_{ус.} \geq \frac{U_{вых}}{U_{вых.D}} = \frac{U_{вых}}{U_n K_{вых.D}} = \frac{3.2}{0.9 \cdot 0.82} = 4.34$$

После детектора необходим видеусилитель с коэффициентом усиления  $K = 4.34$

### **1.7 Выбор и расчет транзистора.**

Выберем транзистор ГТЗ62А (импортный аналог Т1ХМ 103).

*Параметры транзистора:*

$f_{np} = 60 \text{МГц}$  - промежуточная частота;

$I_{КБ0} = 5 \text{мкА}$  - обратный ток коллектора при  $U_{КБ}, B$ ;

$U_K = 3 \text{В}$  - напряжение коллектора в режиме измерения  $h$  – параметров;

$h_{21Э} = 50$

$f_{cp} = 2400 \text{МГц}$  - граничная частота коэффициента передачи;

$C_K = 1 \text{нФ}$  - емкость коллекторного перехода;

$\tau_K = 10 \text{нс}$  - постоянная времени цепи обратной связи;

$K_{ш} = 4.5$  - коэффициент шума.

*Максимально допустимые параметры:*

$U_{КБ\max} = 5 \text{В}$  - постоянное напряжение К-Б;

$U_{КЭ\max} = 5 \text{В}$  - постоянное напряжение К-Э;

$I_{K\max} = 10 \text{мА}$  - постоянный ток коллектора;

$P_{\max} = 40 \text{мВт}$  - рассеиваемая мощность без теплоотвода;

$T_{\max} = +55^\circ \text{C}$  - максимальная температура окружающей среды;

$T_{\min} = -40^\circ \text{C}$  - минимальная температура окружающей среды.

п-р-п, германий – тип перехода, материал.

Используется для приемно-усилительной аппаратуры СВЧ.

### **Расчет $Y$ – параметров транзистора.**

1. Входная проводимость  $Y_{11}$ :

$$\dot{Y}_{11} = g_{11} + j\theta_{11}$$

$$g_{11} = \frac{1 + h_{21Э} \cdot \gamma_{эп} \cdot \gamma_S}{h_{21Э} \cdot h_{11Б} (1 + \gamma_S^2)}$$

$$\gamma_{эп} = \frac{f}{f_{эп}} = \frac{60}{2400} = 0.025$$

$$\gamma_S = \frac{f}{f_{Y21}} = \frac{60}{401.6} = 0.149$$

$$f_{Y21} = \frac{f_{эп} \cdot r_Э}{r_Б} = \frac{2400 \cdot 5.02}{30} = 401.6 \text{ МГц}$$

$$r_Э = \frac{25.6 \cdot \alpha}{I_K} = \frac{25.6 \cdot 0.98}{5} = 5.02$$

$$\alpha = \frac{\beta_0}{1 + \beta_0} = \frac{h_{21Э}}{1 + h_{21Э}} = \frac{50}{51} = 0.98$$

$$r_Б = \frac{\xi \cdot \tau_k}{C_k} = \frac{3 \cdot 10}{1} = 30$$

Коэффициент  $\xi = 3$  - для мезатранзисторов

$$g_{11} = \frac{1 + 50 \cdot 0.025 \cdot 0.149}{50 \cdot 5.62 (1 + 0.149^2)} = \frac{1.186}{287.24} = 4.13 \text{ мСм}$$

$$\theta_{11} = \frac{\beta_0 \cdot \gamma_{эп} - \gamma_S}{\beta_0 \cdot h_{11Б} (1 + \gamma_S^2)} = \frac{50 \cdot 0.025 - 0.149}{50 \cdot 5.62 (1 + 0.149^2)} = \frac{1.101}{287.24} = 3.83 \cdot 10^{-3} \text{ См} = 3.83 \text{ мСм}$$

$$\dot{Y}_{11} = 4.13 + j3.83$$

$$|\dot{Y}_{11}| = \sqrt{4.13^2 + 3.83^2} = \sqrt{31.726} = 5.63 \text{ мСм}$$

2. Прямая взаимная проводимость (крутизна  $Y_{21}$ )

$$\dot{Y}_{21} = g_{21} + j\theta_{21}$$

$$g_{21} = \frac{h_{21Э}}{(1 + h_{21Э}) \cdot h_{11Б} (1 + \gamma_S^2)} = \frac{50}{(1 + 50) \cdot 5.62 \cdot (1 + 0.149^2)} = 0.171 \text{ См}$$

$$\theta_{21} = -\frac{h_{21Э} \cdot \gamma_S}{(1 + h_{21Э}) \cdot h_{11Б} \cdot (1 + \gamma_S^2)} = -\frac{50 \cdot 0.149}{292.98} = -0.025 \text{ См}$$

$$\dot{Y}_{21} = 0.171 - j0.025$$

$$|Y_{21}| = \sqrt{0.171^2 + (-0.025)^2} = \sqrt{0.0296} = 0.172 \text{ См}$$

3. Обратная взаимная проводимость  $Y_{12}$ :

$$\dot{Y}_{12} = g_{12} + j\theta_{12}$$



$$g_{12} = -\frac{\omega\tau_{\kappa}(\beta_0 \cdot \gamma_{ep} - \gamma_S)}{\beta_0 \cdot h_{11B} \cdot (1 + \gamma_S^2)} = -\frac{376.8 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-12} (50 \cdot 0.025 - 0.149)}{50 \cdot 5.62 (1 + 0.149^2)} = -0.014 \text{ мСм}$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 60 = 376.8 \text{ МГц}$$

$$e_{12} = -\omega C_{\kappa} + \frac{\omega\tau_{\kappa}(1 + \beta_0 \cdot \gamma_{ep} \cdot \gamma_S)}{\beta_0 \cdot h_{11B} \cdot (1 + \gamma_S^2)} = -378.6 \cdot 10^6 \cdot 10^{-12} + \frac{376.8 \cdot 10^{-5} (1 + 50 \cdot 0.025 \cdot 0.149)}{50 \cdot 5.62 \cdot (1 + 0.149^2)} =$$

$$-378.6 \cdot 10^{-6} + \frac{4.47 \cdot 10^{-3}}{287.24} = -378.6 \cdot 10^{-6} + 1.556 \cdot 10^{-5} = -0.361 \text{ мСм}$$

$$\dot{Y}_{12} = -0.014 - j0.361$$

$$|Y_{12}| = \sqrt{(-0.014)^2 + (-0.361)^2} = \sqrt{0.1302} = 0.361 \text{ мСм}$$

4. Выходная проводимость при короткозамкнутом входе  $Y_{22}$ :

$$\dot{Y}_{22} = g_{22} + j e_{22}$$

$$g_{22} = \frac{\omega\tau_{\kappa}\gamma_S}{h_{11B} \cdot (1 + \gamma_S^2)} = \frac{376.8 \cdot 10^{-5} \cdot 0.149}{5.62 (1 + 0.149^2)} = 0.098 \text{ мСм}$$

$$e_{22} = \omega C_{\kappa} + \frac{\omega\tau_{\kappa}}{h_{11B} \cdot (1 + \gamma_S^2)} = 378.6 \cdot 10^6 + \frac{376.8 \cdot 10^{-5}}{5.745} = 1.035 \text{ мСм}$$

$$\dot{Y}_{22} = 0.098 + j1.035$$

$$|Y_{12}| = \sqrt{0.098^2 + 1.035^2} = \sqrt{1.081} = 1.04 \text{ мСм}$$

### 1.8 Расчет вспомогательных параметров УПЧ.

1. Максимальный коэффициент устойчивого усиления одного каскада

$$K_{уст.} = 0.42 \sqrt{\frac{|Y_{21}|}{|Y_{12}|}} = 0.42 \sqrt{\frac{172}{0.361}} = 9.17$$

2. Минимальное число избирательных систем  $m_{\kappa}$ , необходимое для реализации усилителя с заданным коэффициентом усиления при использовании диодного смесителя:

$$m_{\kappa} \geq \frac{\lg K_{ом}}{\lg K_{уст}}$$

$$m_{\kappa} = \frac{\lg 53731.34}{\lg 9.17} = 4.93$$

Принимаем  $m = 5$ . Вычислим параметр  $a$  по формуле, задавшись  $v = 0.2; \mu = 1.4$  ((1) из примера стр. 477)

$$a \geq \frac{v f_n}{\mu \Pi} \quad a = \frac{0.2 \cdot 60}{1.4 \cdot 2.74} = 3.125$$

Для  $m = 5$  по табл. 6.1 (1), находим  $\psi = 2.59$  и определяем необходимое эквивалентное затухание:

$$d_{\text{э}} = \frac{\Pi}{f_n} \cdot \psi(m) = \frac{2.74 \cdot 2.59}{60} = 0.12$$

Вычислим критическое значение эквивалентного затухания контуров промежуточных каскадов по формулам, приняв  $d = 0.01$  ((1), стр. 275)

$$d' = d + \frac{1}{\pi \cdot a \cdot f_n (C_{11}/g_{11} + C_{22}/g_{22})}$$

$$e_{11} = \omega \cdot C_{11} \Rightarrow C_{11} = e_{11}/\omega = 3.83 \cdot 10^{-3}/376.8 \cdot 10^6 = 10.2 \text{ нФ}$$

$$e_{22} = \omega \cdot C_{22} \Rightarrow C_{22} = e_{22}/\omega = 1.035 \cdot 10^{-3}/376.8 \cdot 10^6 = 2.75 \text{ нФ}$$

$$d' = \frac{1}{3.14 \cdot 3.125 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot (10.2/4.13 + 2.75/0.098) \cdot 10^{-9}} + 0.01 = 0.01 + \frac{1}{17.97} = 0.07$$

$$d'' = d + \frac{1}{4\pi \cdot a \cdot f_n \left( \frac{g_{11}}{C_{11}} + \frac{g_{22}}{C_{22}} \right)}$$

$$d'' = 0.01 + \frac{1}{4 \cdot 3.14 \cdot 3.125 \cdot 60 \cdot 10^6 \left( \frac{4.13}{10.2} + \frac{0.098}{2.75} \right)} = 0.01 + 4.25 \cdot 10^{-10} (0.4 + 0.04) = 0.01$$

Полученные значения  $d'$  и  $d''$  сравниваем с  $d_3$  и получаем, что  $d_3 > d''$ .

Реализуется режим максимального усиления при ограничении минимального значения эквивалентной емкости контура.

Коэффициент включения  $m_2$  находим по формуле:

$$m_2 = \sqrt{\frac{C_{22}}{C_{11}}} = \sqrt{\frac{2.75}{10.2}} = 0.52$$

Эквивалентную емкость контура принимают равной минимально допустимой и вычисляют по формуле:

$$C_3 = a \cdot (C_{22} + m_2^2 C_{11}) = 3.125(2.75 + 0.52^2 \cdot 10.2) = 17.2 \text{ нФ}$$

Коэффициент усиления одноконтурного каскада на частоте настройки контура рассчитывается по формуле:

$$K_{OK} = \frac{m_2 \cdot |Y_{21}|}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot C_3 \cdot d_3} = \frac{0.52 \cdot 0.172}{2 \cdot 3.14 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 17.2 \cdot 10^{-12} \cdot 0.12} = \frac{0.089}{777.7 \cdot 10^{-6}} = 114.44$$

$K_{OK} > K_{уст}$ , т.е. каскад неустойчив.

Так как отношение  $K_{OK}/K_{уст} > 2$ , то применим каскодное включение транзистора по схеме ОЭ-ОБ.

Параметры каскодного соединения:

$$Y_{11} = Y_{11Э}; \quad Y_{21} = Y_{21Э}; \quad Y_{22} = -Y_{12Э}; \quad Y_{12} = \frac{Y_{12Э} \cdot Y_{22Э}}{Y_{21Э}} \quad ((1), \text{ стр.116, табл. 3.3})$$

$$g_{11} = 4.13 \text{ мСм}; \quad g_{22} = 0.098 \text{ мСм}$$

$$C_{11} = 10.2 \text{ нФ}; \quad C_{22} = 2.75 \text{ нФ}$$

$$|Y_{21}| = 0.172 \text{ См}$$

$$|Y_{12}| = \frac{0.361 \cdot 10^{-3} \cdot 1.04 \cdot 10^{-3}}{0.172} = 2.2 \text{ мкСм}$$

$$K_{уст.к} = 0.45 |Y_{21}| \frac{1}{\sqrt{|Y_{12}| \cdot (Y_{12} + Y_{22})}} = 0.45 \cdot 172 \cdot \frac{1}{\sqrt{0.002 \cdot (0.002 - 0.361)}} = 2888.06$$

$$m \geq \frac{\lg 53731.34}{\lg 2888.06} = 1.367$$

Принимаем  $m = 2$ . Для  $m = 2$  находим  $\psi = 1.55$

$$d_{\text{э}} = \frac{2.74 \cdot 1.55}{60} = 0.07$$

Определяем значения  $d'$  и  $d''$  для промежуточных каскадов:

$$d' = 0.07$$

$$d'' = 0.01$$

$d_{\text{э}} = d'$ . В этом случае режим максимального усиления каскада без ограничений. Максимальное усиление достигается при следующем выборе параметров схемы:

$$m_2 = \sqrt{\frac{g_{22}}{g_{11}}} = \sqrt{\frac{0.098}{4.13}} = 0.154$$

$$C_{\text{э}} = \frac{g_{22}}{\pi \cdot f_n \cdot (d_{\text{э}} - d)} = \frac{0.098 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 60 \cdot 10^6 (0.007 - 0.01)} = 8.53 \text{ нФ}$$

Находим коэффициент усиления каскада:

$$K_{OK} = \frac{0.154 \cdot 0.172}{2 \cdot 3.14 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 8.53 \cdot 10^{-12} \cdot 0.09} = 116.12$$

так как  $K_{OK} < K_{уст}$ , то каскад устойчив.

Чтобы обеспечить нужное эквивалентное затухание контура, его шунтируют резистором с проводимостью:

$$g_{шн} = 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot C_{\text{э}} \cdot (d_{\text{э}} - d) - m_1^2 g_{22} - m_2^2 g_{11}$$

С точки зрения простоты реализации схемы целесообразно использовать полное включение контуров к коллекторам транзисторов. Поэтому вначале полагают коэффициент включения  $m_1 = 1$ . Однако, если расчет покажет, что индуктивности контурных катушек при этом слишком малы, потребуется частично включить контуры в коллекторные цепи ( $m_1 < 1$ ).

$$g_{шн} = 2 \cdot 3.14 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 8.53 \cdot 10^{-12} (0.07 - 0.01) \cdot 10^3 - 0.098 - 0.154^2 \cdot 4.13 = 0.16 \text{ мСм}$$

Теперь необходимо рассчитать оконечный каскад. Параметры нагрузки УПЧ определяются из расчета детектора радиоимпульсов:

$$g_n = \frac{1}{R_{вх.Д}} = 0.42 \text{ мСм}; C_H \approx C_D = 1 \text{ нФ}$$

Вычислим значения  $d'$  и  $d''$

$$d' = \frac{1}{3.14 \cdot 3.125 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot (1/0.42 + 2.75/0.098) \cdot 10^{-9}} + 0.01 = 0.01 + \frac{1}{17.92} = 0.07$$

$$d'' = 0.01 + \frac{1}{4 \cdot 3.14 \cdot 3.125 \cdot 60 \cdot 10^6 \left( \frac{0.42}{1} + \frac{0.098}{2.75} \right)} = 0.01 + 4.25 \cdot 10^{-10} (0.42 + 0.04) = 0.204$$

$$d_3 = d'$$

$m_2 = 0.154$ ;  $C_3 = 8.53 \text{ нФ}$ , т.е. такие же как и в промежуточном каскаде.

Вычисляем проводимость шунта, подключенного к контуру оконечного каскада:

$$g_{шн} = 2 \cdot 3.14 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 8.53 \cdot 10^{-12} (0.07 - 0.01) \cdot 10^3 - 0.098 - 0.154^2 \cdot 0.42 = 0.088 \text{ мСм}$$

Общий коэффициент усиления УПЧ будет равен:

$$K_{оп} = K_{опч} \cdot K_{ок}^{n-1} \cdot K_{ок.н} = 116.12^2 = 1.35 \cdot 10^4$$

$K_{оп} \gg K_{ом}$ , т.е. усилитель имеет некоторое избыточное усиление.

Рассчитаем элементы контуров по формулам:

- индуктивности контурных катушек

$$L_K = \frac{2.53 \cdot 10^{10}}{f_0^2 \cdot C_3} = \frac{2.53 \cdot 10^{10}}{60^2 \cdot 10^6 \cdot 8.53} = 8 \text{ мкГн}$$

- собственные емкости контуров промежуточных каскадов при  $C_M = 3 \text{ нФ}$

$$C_K = C_3 - m_1^2 \cdot C_{22} - m_2^2 \cdot C_{11} - C_M = 8.53 - 2.75 - 0.154^2 \cdot 10.2 - 3 = 2.54 \text{ нФ}$$

- собственная емкость оконечного каскада

$$C_K = C_3 - m_1^2 \cdot C_{22} - m_2^2 \cdot C_n - C_M = 8.53 - 2.75 - 0.154^2 \cdot 1 - 3 = 2.76 \text{ нФ}$$

### 1.9 Расчет элементов, обеспечивающих режим УПЧ.

Определяем изменение обратного тока коллектора для германиевых транзисторов

$$\Delta I_{КБ0} = I_{КБ0} \cdot 2^{0.1(T_{max} - T_0)} = 5 \cdot 2^{0.1(323 - 293)} = 40 \text{ мкА}$$

Находим тепловое смещение напряжения базы

$$\Delta U_{ЭБ} = \gamma(T_{max} - T_{min}) = 1.8 \cdot 10^{-3} (323 - 263) = 0.11 \text{ В}$$

Рассчитаем необходимую нестабильность коллекторного тока

$$\Delta I_K = \frac{I_K (T_{max} - T_{min})}{T_0} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{293} = 1.02 \text{ мА}$$

Вычисляем сопротивления резисторов

$$R_3 = \left[ \Delta U_{ЭБ} + \frac{15 \cdot \Delta I_{КБ0}}{g_{11}} \right] / \Delta I_K = \frac{\left[ 0.11 + \frac{15 \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{4.13 \cdot 10^{-3}} \right]}{1.02 \cdot 10^{-3}} = 250 \text{ Ом}$$

$$R_\phi = \left[ \frac{E_\Pi - 2U_{КЭ}}{I_K} \right] - R_3 = \left[ \frac{27 - 2 \cdot 5}{5 \cdot 10^{-3}} \right] - 250 = 3.4 \text{ кОм}$$

Рассчитаем  $R_0$ :

$$R_0 = \frac{15 \cdot E_{II}^2}{(2U_{KЭ} + R_Э I_K) R_Э \cdot I_K \cdot g_{II}} = \frac{15 \cdot 27^2}{(10 + 250 \cdot 5 \cdot 10^{-3}) \cdot 250 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 4.13 \cdot 10^{-3}} = 188.5 \text{ кОм}$$

Рассчитаем  $R_1$ :

$$R_1 = \frac{R_0 \cdot R_Э \cdot I_K}{E_{II}} = \frac{188500 \cdot 250 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{27} = 8.7 \text{ кОм}$$

Рассчитаем  $R_2$ :

$$R_2 = \frac{R_0 \cdot U_{KЭ}}{E_{II}} = \frac{188500 \cdot 5}{27} = 34.9 \text{ кОм}$$

Рассчитаем  $R_3$ :

$$R_3 = R_0 - R_1 - R_2 = 188.5 - 8.7 - 34.9 = 144.9 \text{ кОм}$$

Вычисляем емкости конденсаторов:

$$C_\phi = \frac{500}{\omega_0 \cdot R_\phi} = \frac{500}{6.28 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 3400} = 390.6 \text{ нФ}$$

$$C_Э = \frac{500}{\omega_0 \cdot R_Э} = \frac{500}{6.28 \cdot 60 \cdot 10^6 \cdot 250} = 5307.9 \text{ нФ}$$

Последовательное питание каскадной схемы согласно нашему чертежу, уменьшает число деталей, но увеличивает требуемое напряжение источника питания.

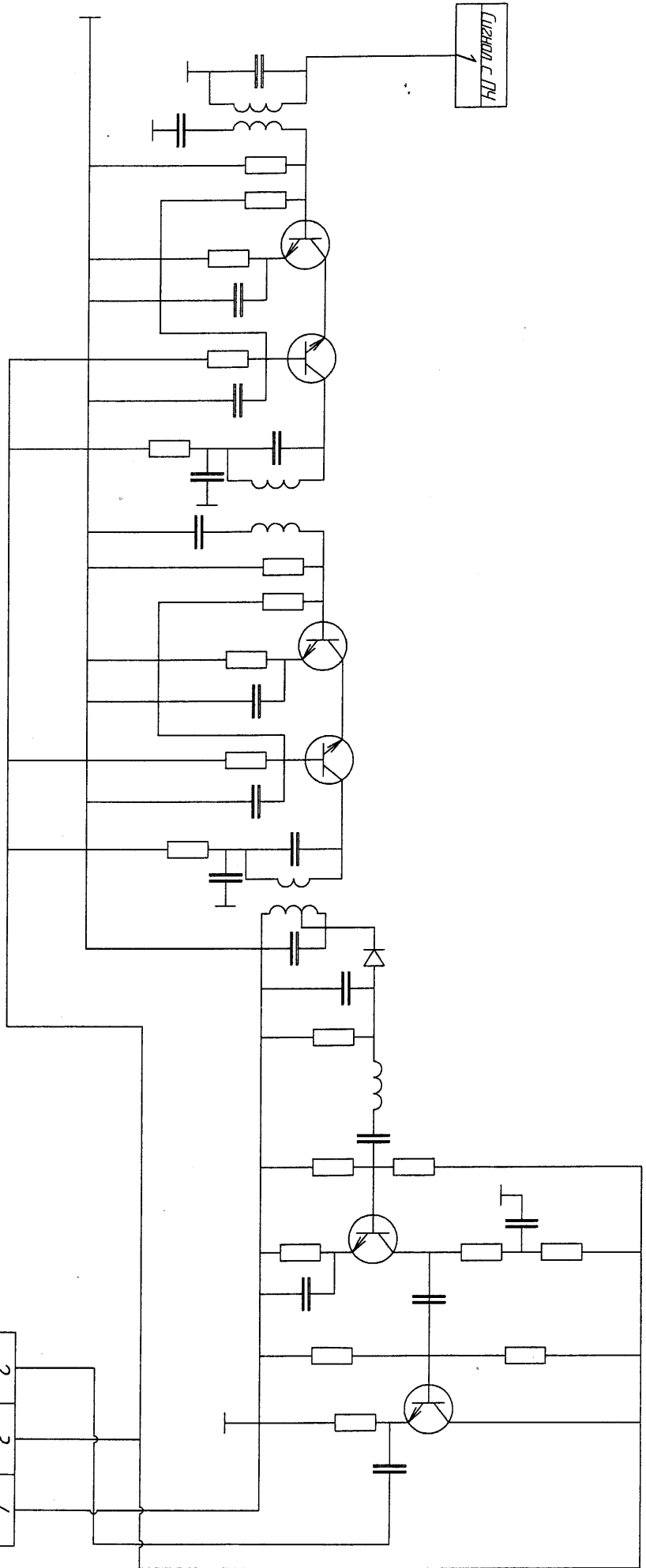
### *Список литературы.*

1. «Проектирование радиоприемных устройств» под редакцией А.П. Сиверса, Москва, «Советское радио», 1976г.
2. Конспект лекций.
3. «Полупроводниковые приемно-усилительные устройства». Справочник радилюбителя  
Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Седов. Киев, «Наукова думка», 1982г.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Справ. №	Перв. примен.

КОМПАС-V7 LT V7 Инженерская версия



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разработ.				
Проб.				
Т. контрол.				
И. контрол.				
Чтб				

СХЕМА		Лист	Масштаб
		Лист	Масштаб
Электроническая принципиальная		Лист	Листов
		Лист	Листов

Копирован

Формат А3

Выход	2	3	4
Линия			
Корпус			