

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЗАОЧНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра радиоустройств

РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Ленинград 1988

Контрольный пример: Для $f_{c \max} = 4 \cdot 10^6$, $f_{c \min} = 3 \cdot 10^6$, $Q_k = 100$, $L_k = 3 \cdot 10^{-5}$, $f_\pi = 4,65 \cdot 10^5$, $\sigma_{\text{зк}} = 20$ получаем $Q_a = 47,430631$, $D = 2,1083421$, $R_{k \max} = 75398,223$, $R_{k \text{ср}} = 65973,445$, $R_{k \min} = 56548,668$.

Таблица 8

Параметры	Расчетные формулы	Примечания
Q_a	$\sqrt{\sigma_{\text{зк}}^2 - 1} \left(\frac{f_{c \max} + 2f_o}{f_{c \max}} - \frac{f_{c \max}}{f_{c \max} + 2f_\pi} \right)^{-1}$	$f_{c \text{ср}} = \frac{f_{c \max} + f_{c \min}}{2}$
R_k	$2\pi f_c L Q_k$	$g_{22} — \text{выходная активная проводимость УП УРЧ},$
D	$\frac{Q_k}{Q_a}$	$g_{11} — \text{входная проводимость следующего каскада},$
m	$\left(\frac{D - 1}{2R_{k \text{ср}} g_{22}} \right)^{\frac{1}{2}}$	$R_{k \max} = R_k(f_{c \max}),$
n	$\left(\frac{D - 1}{2R_{k \text{ср}} g_{11}} \right)^{\frac{1}{2}}$	$R_{k \text{ср}} = R_k(f_{c \text{ср}}),$
$K_{0 \max}$	$\frac{ Y_{21} }{2\sqrt{g_{11}g_{22}}} \left(1 - \frac{1}{D} \right)$	$R_{k \min} = R_k(f_{c \min}).$
K_0	$\frac{m' n' Y_{21} }{m'^2 g_{22} + \frac{1}{R_k} + n'^2 g_{11}}$	
Q_a	$\left(2\pi f_c L \left(m'^2 g_{22} + \frac{1}{R_k} + n'^2 g_{11} \right) \right)^{-1}$	
$\sigma'_{\text{зк}}$	$\left(1 + \left(Q'_a \left(\frac{f_{c \max} + 2f_\pi}{f_{c \max}} - \frac{f_{c \max}}{f_{c \max} + 2f_\pi} \right) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$	

Инструкция: $m' = \Pi_0$, $n' = \Pi_1$, $|Y_{21}| = \Pi_2$, $g_{11} = \Pi_3$, $g_{22} = \Pi_4$, $f_{c\max} = \Pi_5$, $f_n = \Pi_6$, $L = \Pi_7$, $R_k = \Pi_x$, (В/О) С/П БП $\sigma'_{z_k} = \Pi_a$, $K_0 = \Pi_x$, Π_b , ($Q_s' = \Pi_d$).

На минимальной частоте $f_{c\min}$ вводится $R_{k\min}$ и выводится после окончания программы только величина $K_{0\min}$.

Контрольный пример: Для $m' = 7,914744 \cdot 10^{-12}$, $n' = 6,4807062 \cdot 10^{-2}$, $|Y_{21}| = 1 \cdot 10^{-1}$, $g_{11} = 2 \cdot 10^{-3}$, $g_{22} = 3 \cdot 10^{-5}$, $f_{c\max} = 4 \cdot 10^6$, $f_n = 4,65 \cdot 10^5$, $L = 3 \cdot 10^{-5}$, $R_{k\max} = 75398,224$ получаем $K_{0\max} = 23,474309$, $\sigma'_{z_k} = 25,581857$ ($Q_s' = 60,697736$).

В заключение в соответствии с методикой [3] расчета ВЦ с автотрансформаторной связью с антенной вычисляется коэффициент шума приемника. Сверяя с результатами эскизного проектирования, необходимо убедиться, что он не меньше коэффициента шума, полученного по методике расчета в п. 2.5.

3.4. Расчет смесителя

Смеситель преобразователя приемника удобно выбрать на транзисторе, аналогичном УРЧ. Нагрузкой смесителя является фильтр сосредоточенной избирательности (ФСИ) или избирательная система, определенная на этапе эскизного проектирования. Расчет смесителя при использовании УПЧ-Р телевизионных приемников совмещается с расчетом каскада УПЧ (с учетом отличий параметров усилительных приборов в режиме преобразования).

Расчет диодных смесителей следует выполнять по методике [1, 2].

3.4.1. Расчет смесителя с двухконтурной нагрузкой

На практике в приемниках низкого класса любого предназначения широкое применение находят УПЧ с распределенной избирательностью, избирательная система которого представляет совокупность n пар связанных контуров ($(n-1)$ есть общее число каскадов УПЧ), причем одна из этих пар будет являться нагрузкой смесителя. Предполагается, что контура пар систем идентичны и связь их равна критической. Отметим, что при расчете нужно следить за тем, чтобы коэффициент усиления смесителя не превышал коэффициент устойчивого усиления каскада $K_{уст}$. Снижение усиления необходимо осуществлять при сохранении избирательных свойств (Q_s) за счет уменьшения m_1 (при полевом транзисторе m_2)

до величины m_1' (m_2'), когда $K_0' \leq K_{\text{уст}}$. Для сохранения идентичности контуров при этом следует использовать шунт $g_{\text{ш}}$. Формулы для расчета смесителя с двухконтурной нагрузкой приведены в табл. 9. Далее приведены соответствующие программы для расчета на ЭКВМ.

Таблица 9

Параметры	Расчетные формулы	Примечания
Q_0	$\frac{\sqrt[4]{\frac{4}{4\left(\frac{1}{Q_0} - 1\right)}}}{f_{\text{п}} + \frac{\Pi_{0,7}}{2} - \frac{f_{\text{п}}}{f_{\text{п}} + \frac{\Pi_{0,7}}{2}}}$	$C_{\text{k}} = (500 \dots 1000) \cdot 10^{-12}$ для $f_{\text{п}} = (465 \dots 500)$ кГц, $C_{\text{k}} = (50 \dots 100) \cdot 10^{-12}$ для $f_{\text{п}} \approx (10 \dots 40)$ мГц, $K_0' = K_{\text{уст}}$ $g_{22\text{пр}}, Y_{21\text{пр}} , Y_{12\text{пр}} $ — параметры УП в режиме преобразования.
m_1	$\sqrt{\left(\frac{1}{Q_0} - \frac{1}{Q_{\text{k}}}\right)} \frac{2\pi f_{\text{п}} C_{\text{k}}}{g_{22\text{пр}}}$	
m_2	$\sqrt{\left(\frac{1}{Q_0} - \frac{1}{Q_{\text{k}}}\right)} \frac{2\pi f_{\text{п}} C_{\text{k}}}{g_{11}}$	
K_0	$\frac{m_1 m_2 g_{21\text{пр}} Q_0}{4\pi f_{\text{п}} C_{\text{k}}}$	
$K_{\text{уст}} = K_0'$	$0,45 \sqrt{\frac{ Y_{21\text{пр}} }{ Y_{12\text{пр}} }}$	
m_1'	$\frac{K_0'}{K_0} m_1$	
$g_{\text{ш}}$	$(m_1^2 - m_1'^2) g_{22\text{пр}}$	

Программа 3.10. Расчет параметров m_1 (m_1'), m_2 , K_0 (K_0'), $g_{\text{ш}}$.

ИП1	2	÷	ИП0	+	ИП0	÷	↑	1/x	-
1/x	П9	ИП3	1/x	2	x ^y	1	-	4	×
4	1/x	↔	x ^y	ИП9	×	П9	1/x	ИП4	1/x
-	π	×	2	×	ИП0	×	ИП2	×	Πd
ИП6	÷	√-	Пb	ИПd	ИП7	÷	√-	Пc	ИПc
ИПc	×	ИП5	×	ИП9	×	4	÷	π	÷
ИП0	÷	ИП2	÷	Пd	ИП5	ИП8	÷	√-	0
,	4	5	×	П9	ИПd	-	x ≥ 0	80	C/P
ИП9	ИПd	÷	ИПb	×	Пa	ИПd	Пd	ИПb	x ²
ИПa	x ²	-	ИП6	×	П9	C/P			

Инструкция: $f_p = \Pi_0$, $\Pi_{0,7} = \Pi_1$, $C_k = \Pi_2$, $n = \Pi_3$, $Q_k = \Pi_4$, $|Y_{21\text{пр}}| = \Pi_5$, $g_{22\text{пр}} = \Pi_6$, $g_{11} = \Pi_7$, $|Y_{12\text{пр}}| = \Pi_8$ В/О С/П $\Pi_a = m_1'$, $Pb = m_1$, $\Pi_c = m_2$, $K_0(K_0') = \Pi_d$, $g_w = \Pi_9$.

Контрольный пример: Для $f_p = 465000$, $\Pi_{0,7} = 10000$, $C_k = 500 \cdot 10^{-12}$, $n = 3$, $Q_k = 100$, $|Y_{21\text{пр}}| = 9,7100016 \cdot 10^{-2}$, $g_{22\text{пр}} = 1,7884797 \cdot 10^{-5}$, $g_{11} = 2,5048796 \cdot 10^{-3}$, $|Y_{12\text{пр}}| = 1,0995574 \times 10^{-5}$ получаем $m_1' = 3,3375503 \cdot 10^{-1}$, $m_1 = 9,5576699 \cdot 10^{-1}$, $m_2 = 8,0760799 \cdot 10^{-2}$, $K_0' = 42,287616$, $g_w = 1,4345362 \cdot 10^{-5}$.

3.4.2. Расчет смесителя с ФСИ

Расчет рекомендуется производить в соответствии с табл. 10. Предполагается, что известны параметры транзисторов смесителя и первого каскада УПЧ, $R_{вх}$ и $R_{вых}$ — соответственно входное и выходное сопротивления ФСИ, L_Φ — затухания в полосе пропускания ФСИ. Определяются коэффициенты включения ФСИ к транзисторам. Для упрощения реализации m_1 и m_2 рекомендуется при ФСИ на LC-элементах строить их на звенях III₄. Тогда m_1 и m_2 просто осуществить в виде автотрансформаторного включения транзисторов к входному и выходному контуру. Цепи снижения усиления при необходимости подключаются в разрывы подсоединения транзисторов к контурам ФСИ. Подробный расчет ФСИ на LC-элементах приведен в [1]. Для ФСИ электромеханического типа рекомендуется настройка входа и выхода на промежуточную частоту с помощью внешних емкостей, роль индуктивностей входного и выходного резонатора играют об-

Таблица 10

Параметры	Расчетные формулы	Примечания
m_1	$\frac{1}{\sqrt{R_{вх}g_{22pp}}}$ при $R_{вх}g_{22pp} \geq 1$	1 при $R_{вх}g_{22pp} < 1$
g_{m1}	0 при $R_{вх}g_{22pp} \geq 1$	$\frac{1 - R_{вх}g_{22pp}}{R_{вх}}$ при $R_{вх}g_{22pp} < 1$
m_2	$\frac{1}{\sqrt{R_{вых}g_{11}}}$ при $R_{вых}g_{11} \geq 1$	1 при $R_{вых}g_{11} < 1$
g_{m2}	0 при $R_{вых}g_{11} \geq 1$	$\frac{1 - R_{вых}g_{11}}{R_{вых}}$ при $R_{вых}g_{11} < 1$
K_0	$- \frac{L_{\Phi}}{20}$ $0,5m_1 m_2 Y_{21pp} R_{вх} \cdot 10$	Если $\sigma \geq 0,1$, то рекомендуется $\delta = \delta_1$ и $\delta_2 = 1$, если $\delta < 0,1$, то рекомендуется
$K_{уст}$	$0,45 \sqrt{\frac{ Y_{21pp} }{ Y_{12} _{пп}}}$	$\delta_1 = \delta_2 = \sqrt{\delta}$ g_{22pp} , $ Y_{21pp} $, $ Y_{12} _{пп}$ — параметры УП в режиме преобразования.
K'_0	$\delta K_0 = \delta_1 \delta_2 K_0 = K_{уст}$	
$R_{п1}$	$2 \frac{R_{вх}}{m_1^2} \frac{1 - \delta_1}{\delta_1}$	
R_{m1}	$\frac{R_{вх}}{m_1^2} \frac{2 - \delta_1}{2(1 - \delta_1)}$	
$R_{п2}$	$\frac{R_{вых}}{m_2^2} \frac{1 - \delta_2}{\delta_2}$	
R_{m2}	$\frac{R_{вых}}{m_2^2} \frac{1}{1 - \delta_2}$	

мотки соответствующих преобразователей, а m_1 и m_2 реализуются с помощью емкостных делителей в этих контурах. Для пьезоэлектрических фильтров рекомендуется согласование с помощью внешнего широкополосного контура. Порядок расчета варианта такой схемы приведен в [1, 5].

3.5. Расчет усилителей промежуточной частоты

Возможны следующие типы каскадов УПЧ:

- а) с ФСИ в качестве нагрузки;
- б) с двухконтурными нагрузками;
- в) слабоизбирательные или апериодические.

Как правило ФСИ является нагрузкой преобразователя частоты (смесителя). Редко используется два ФСИ, тогда один является нагрузкой первого каскада УПЧ. УПЧ с двухконтурными нагрузками широко применяются в приемниках невысокого класса. Наконец, слабоизбирательные или апериодические каскады применяются при наличии ФСИ в нагрузке преобразователя, когда от последующих каскадов не требуется улучшения селективности, а лишь требуется обеспечение заданного коэффициента усиления.

3.5.1. Расчет каскадов УПЧ с ФСИ и двухконтурными нагрузками

Этот расчет выполняется по методикам, приведенным в разделах 3.4.1 и 3.4.2 с учетом того, что вместо $g_{22\text{пр}}$, $|Y_{21\text{пр}}|$ и $|Y_{12\text{пр}}|$ необходимо использовать соответствующие параметры УП (ИМС) в режиме усиления.

3.5.2. Расчет каскадов УПЧ с одноконтурными нагрузками каскадов

Если в качестве нагрузки смесителя использован ФСИ, то тракт УПЧ должен только обеспечить заданное усиление K_0 и не искажать АЧХ, сформированную ФСИ. В этом случае тракт УПЧ выполняется в виде n -апериодических либо слабоизбирательных каскадов. Апериодические УПЧ целесообразно использовать на частотах в 3...5 раз меньших частоты граничного усиления УП либо ИМС. Особенно выгодно применение таких УПЧ на ИМС. Недостатком УПЧ с апериодическими каскадами является невысокий коэффициент усиления на один каскад из-за существенного влияния входных-выходных емкостей УП (ИМС). Этот недостаток может быть

устранен применением слабоизбирательных каскадов УПЧ, например, с использованием широкополосных одноконтурных нагрузок каскадов.

Возможный вариант расчета УПЧ с одноконтурными нагрузками каскадов представлен в табл. 11. При расчете полагается заданным общий коэффициент усиления УПЧ K_0 , полоса пропускания приемника $\Delta F_{\text{вч}}$ и параметры УП. Предполагается, что УП всех каскадов одинаковы, а конструктивная добротность всех ненагруженных контуров $Q_k = 100$. Предварительно осуществляют выбор емкости контуров $C_k = (50 \dots 1000) \cdot 10^{-12} \Phi$. При этом для f_p порядка сотен кГц C_k выбирается ближе к максимальному значению, а для f_p порядка десятков МГц — к минимальному значению. Предполагается, что нагруженный контур каждого каскада широкополосный, т. е. его полоса $\Pi_{0,7} \gg \Delta F_{\text{вч}}$ и $Q_s \ll Q_k$. Тогда можно считать, что усиление каждого каскада стремится к предельному значению $K_{\text{опр}}$. Рассчитываем его и сравниваем с устойчивым коэффициентом усиления $K_{\text{уст}}$. Если $K_{\text{опр}} < K_{\text{уст}}$, то оно принимается за расчетный коэффициент усиления каскада $K_{01} = K_{\text{опр}}$. Если $K_{\text{опр}} > K_{\text{уст}}$, то принимается $K_{01} = K_{\text{уст}}$, при этом снижение усиления осуществляется за счет шунтирования выхода УП каскада — g_{w1} и входа следующего УП — g_{w2} . Рекомендуется для биполярных транзисторов уменьшение усиления осуществлять вариацией только g_{w1} при $g_{w2} = 0$ ($g'_{11} = g_{11}$), а для полевых транзисторов — вариацией только g_{w2} при $g_{w1} = 0$ ($g'_{22} = g_{22}$). При расчете коэффициент включения может оказаться больше единицы, тогда полагаем его равным единице, а избыток усиления компенсируем увеличением соответствующей шунтирующей проводимости. Например, $m_1 > 1$, тогда берем $m_1 = 1$, а значение g_{w1} увеличиваем на величину

$$\Delta g_{w1} = (m_1^2 - 1) g'_{22}.$$

Совершенно аналогично поступаем при $m_2 > 1$. В завершение расчетов, особенно если произвольно дополнительное подшунтирование, необходимо проводить выполнение требования по усилинию УПЧ:

$$K_{01}^{(n)} = \left(\frac{m_1 m_2 |Y_{21}|}{g_s} \right)^n \geq K_0,$$

где g_s — эквивалентная проводимость нагрузки с учетом всех шунтов. Если условие не выполняется, то следует n увеличить на единицу и произвести с этого места расчет вновь.

Таблица 11

Параметры	Расчетные формулы	Примечания
$K_{\text{опр}}$	$\frac{ Y_{21} }{2\sqrt{g_{22}g_{11}}}$	
$K_{\text{уст}}$	$0,45 \sqrt{\frac{ Y_{21} }{ Y_{12} }}$	
K_{01}	$\frac{ Y_{21} }{2\sqrt{g_{22}g_{11}}} \text{ при } K_{0\text{ пр}} \leq K_{\text{уст}}$	
	$\frac{ Y_{21} }{2\sqrt{g'_{22}g'_{11}}} = K_{\text{уст}} \text{ при } K_{0\text{ пр}} > K_{\text{уст}}$	
g'_{22}	$g_{22} + g_{m1}$	
g_{m1}	$\frac{ Y_{21} Y_{12} }{g_{11}} - g_{22} \text{ при } g_{m2}=0$	
g'_{11}	$g_{11} + g_{m2}$	
g_{m2}	$\frac{ Y_{21} Y_{12} }{g_{22}} - g_{11} \text{ при } g_{m1}=0$	
n	$\left[\frac{\lg K_0}{\lg K_{01}} \right]$	
$\Pi_{0,7}$	$\geq 2\Delta F_{\text{вЧ}}$	
Q_a	$V \frac{\sqrt{2^n} - 1}{\frac{f_{\pi} + \Pi_{0,7}/2}{f_{\pi}} - \frac{f_{\pi}}{f_{\pi} + \Pi_{0,7}/2}}$	
m_1	$\sqrt{\left(\frac{1}{Q_a} - \frac{1}{Q_k} \right) \frac{\pi f_{\pi} C_k}{g'_{22}}}$	
m_2	$\sqrt{\left(\frac{1}{Q_a} - \frac{1}{Q_k} \right) \frac{\pi f_{\pi} C_k}{g'_{11}}}$	

$C_k = (50 \dots 1000) \cdot 10^{-12}$
при изменении f_{π} от десятков до сотен килогерц соответственно.

$$Q_k = 100.$$

Для биполярных транзисторов рекомендуется $g_{m2}=0$ ($g'_{11}=g_{11}$), а уменьшение усиления осуществлять за счет g_{m1} .

Для полевых транзисторов $g_{m1}=0$ ($g'_{22}=g_{22}$) и изменять следует g_{m2} .

При расчете числа каскадов n обозначение [x] указывает на округление числа x до ближайшего большего целого числа.

Расчет УПЧ с одноконтурными нагрузками каскадов на биполярных транзисторах представлен программами 3.11 и 3.12 для случая, когда $K_{0\text{оп}} > K_{\text{уст}}$.

Программа 3.11. Расчет параметров УПЧ с одноконтурными нагрузками $g_{ш1}, g'_{22}, n, m_1, m_2$.

ИП4	ИП5	\times	ИП2	\div	Пб	ИП3	—	Па	ИП6
lg	ИП8	lg	\div	Пс	КИПс	ИПс	1	+	Пс
ИП2	ИП0	+	ИП0	\div	\uparrow	$1/x$	—	$1/x$	Пd
2	ИПс	$1/x$	x^y	x^1	—	$\sqrt{-}$	ИПd	\times	$1/x$
0	,	0	1	—	π	\times	ИП0	\times	ИП1
\times	П9	ИПb	\div	$\sqrt{-}$	Пd	ИП9	ИП2	\div	$\sqrt{-}$
П9	C/P	БП							

Инструкция: $f_n = \Pi_0, C_k = \Pi_1, g_{11} = \Pi_2, g_{22} = \Pi_3, |Y_{21}| = \Pi_4, |Y_{12}| = \Pi_5, K_0 = \Pi_6, \Delta F_{вч} = \Pi_7, K_{\text{уст}} = \Pi_8, (\text{В/О}) \text{ С/П}$
БП $\text{Па} = g_{ш1}, \text{Пб} = g'_{22}, \text{Пс} = n, \text{Пд} = m_1, \text{П9} = m_2$.

Контрольный пример: Для $f_n = 465000, C_k = 500 \cdot 10^{-12}, g_{11} = 2,5 \cdot 10^{-3}, g_{22} = 2,752 \cdot 10^{-5}, |Y_{21}| = 1,214 \cdot 10^{-1}, |Y_{12}| = 4,4 \cdot 10^{-5}, K_0 = 30000, \Delta F_{вч} = 10000, K_{\text{уст}} = 24$ получаем $g_{ш1} = 2,10912 \cdot 10^{-3}, g'_{22} = 2,13664 \cdot 10^{-3}, n = 4, m_1 = 1,7328626 \times 10^{-1}, m_2 = 1,60199 \cdot 10^{-1}$.

Программа 3.12. Расчет коэффициента усиления УПЧ $K_{01}'^n$.

π	2	\times	ИП0	\times	ИП1	\times	—	1	0	0
\div	Па	ИП6	x^2	ИП3	\times	ИПа	+	Па	ИП7	
x^2	ИП2	\times	ИПа	+	$1/x$	ИП6	\times	ИП7	\times	
ИП4	\times	Па	ИП8	\leftrightarrow	x^y	Пб	C/P	БП		

Инструкция: $f_n = \Pi_0, C_k = \Pi_1, g'_{11} = \Pi_2, g'_{22} = \Pi_3, |Y_{21}| = \Pi_4, K_0 = \Pi_5, m_1 = \Pi_6, m_2 = \Pi_7, n = \Pi_8, (\text{В/О}), \text{ С/П}$
БП $\text{Па} = K_{01}, \text{Пб} = K_{01}'^n$.

Контрольный пример: Для $f_n = 465000, C_k = 500 \cdot 10^{-12}, g'_{11} = 2,5 \cdot 10^{-3}, g'_{22} = 2,13664 \cdot 10^{-3}, |Y_{21}| = 1,214 \cdot 10^{-1}, K_0 = 30000, m_1 = 1,7328626 \cdot 10^{-1}, m_2 = 1,60199 \cdot 10^{-1}, n = 4$ получаем $K'_{01} = 23,579159, K''_{01} = 309110,4 > 30000$.

Методики расчета УПЧ с другими слабоизбирательными нагрузками каскадов (например, с взаимно расстроеными контурами) и апериодическими каскадами приведены в [1, 2, 5].

3.6. Расчет детектора

При применении ИМС в приемниках АМ и ЧМ сигналов расчет детектора не производится, т. к. они входят в состав ИМС. При построении схемы на транзисторах расчет детекторов осуществляется по методикам [1, 2].

4. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Рабочая документация проекта состоит из пояснительной записи объемом 30...50 листов и принципиальной схемы с перечнем основных элементов, выполненными согласно требованиям ГОСТ 2.105—79 ЕСКД.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Проектирование радиоприемных устройств./Под ред. А. П. Сиверса.—М.: Сов. радио, 1976.
2. Калихман С. Г., Левин Я. М. Радиоприемники на полупроводниковых приборах: Теория и расчет.—М.: Связь, 1979.
3. Радиоприемные устройства: Методические указания по курсовому проектированию.—Л.: СЗПИ, 1988.
4. Буга Н. Н., Фалько А. И., Чистков Н. И. Радиоприемные устройства./Под ред. Н. И. Чистякова.—М.: Радио и связь, 1986.
5. Радиоприемные устройства: Методические указания к курсовому проектированию.—Л.: СЗПИ, 1985.

Дополнительная:

6. Проектирование радиоприемных устройств на интегральных микросхемах./Под ред. Шаца.—М.: Сов. радио, 1976.
7. Проектирование радиолокационных приемных устройств./Под ред. М. А. Соколова.—М.: Высшая школа, 1984.
8. Банк М. У. Аналоговые интегральные схемы в радиоаппаратуре.—М.: Радио и связь, 1981.
9. Аналоговые интегральные микросхемы: Справочник.—М.: Радио и связь, 1981.
10. Полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник./Под ред. Н. Н. Горюнова.—М.: Энергоатомиздат, 1983.
11. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник./Под ред. Н. Н. Горюнова.—М.: Энергоатомиздат, 1983.

кады идентичными, тогда необходимое число регулируемых каскадов $n_{\text{апу}} = \lg m_{\text{тр}} / \lg m_1$.

Эскизное проектирование завершается составлением структурной схемы радиоприемника и формулированием требований для его функциональных узлов и каскадов.

3. РАБОЧЕЕ (ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ) ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОПРИЕМНИКА

На этапе рабочего (электрического) проектирования выполняется электрический расчет функциональных узлов и отдельных каскадов, составляется принципиальная схема приемника в целом.

3.1. Расчет параметров электронных приборов

В справочниках приводятся следующие параметры биполярных транзисторов: h_{21s} — статический коэффициент передачи тока базы в схеме с ОЭ; $|h_{21s}|$ — модуль коэффициента передачи тока базы в схеме с ОЭ на некоторой частоте f_m ; $f_{rp} = |h_{21s}|$, f_m — граничная частота коэффициента передачи тока базы в схеме с ОЭ; τ_{oc} — постоянная времени цепи обратной связи; C_k — емкость коллекторного перехода; $I_{k\max}$ — максимальный ток коллектора. У параметры и шумовые характеристики биполярного транзистора в схеме с ОЭ можно определить по формулам табл. 5. Приведем программы расчета их на ЭКВМ МК-56 (В3-34).

Программа 3.1. Расчет параметров g_{11s} , g_{22s} , $|Y_{21}|$, $|Y_{12s}|$, r_s , h_{11b} , γ_s , $K_{\text{уст}}$ биполярного транзистора в схеме с ОЭ.

P6	0	,	0	2	6	ИП4	÷	П7	ИП2
2	×	ИП3	÷	П9	ИП0	÷	ИП7	+	П7
ИП6	ИП1	÷	П8	ИП7	÷	ИП9	×	Пс	ИП8
×	ИП0	×	1	+	Па	ИПс	П8	x^2	1
+	Пd	ИП7	×	ИП0	×	1/x	ИПa	×	Пa
ИП6	π	×	2	×	П6	ИП2	×	ИП8	×
ИПd	÷	ИП7	÷	Пb	1	+	ИП7	×	
ИПd	γ^-	×	1/x	ИП0	×	Пс	ИП6	ИП3	×
Пd	1/x	ИПс	×	γ^-	0	,	4	5	×
П6	C/P	БП							

где $K_{вц}$ и $K_{урч}$ — коэффициенты усиления по напряжению соответственно ВЦ и УРЧ.

2.9. Выбор тракта усиления низкой частоты

Для профессиональных, радиовещательных и телевизионных (канал звука) приемников необходимо выбрать подходящую ИМС УНЧ из серий К174, К224, К235, К237 и др.

2.10. Выбор регулировок приемника

При выборе структурной схемы радиоприемника в данном курсовом проекте следует предусмотреть систему регулировок, которая должна обеспечить настройку радиоприемника на частоту принимаемого сигнала, поддержание ее при воздействии дестабилизирующих факторов и автоматическую регулировку усиления в соответствии с уровнем приходящего сигнала.

В радиоприемных устройствах на транзисторах наибольшее распространение получили регулировки усиления с управлением по току базы или эмиттера, а также высокочастотные делители напряжения с изменяющимся коэффициентом деления. Применение высокочастотных делителей объясняется тем, что при регулировании усиления параметры транзисторов регулируемого тракта не изменяются.

При выборе регулируемых каскадов необходимо учесть, что для обеспечения хороших характеристик реальной избирательности, чувствительности и линейности преобразования нежелательно регулировать усиление в первом каскаде УРЧ и смесителях.

Состав системы АРУ определяется, исходя из заданного в технических требованиях допустимого изменения напряжения сигнала на выходе радиоприемника $p = U_{\text{вых max}}/U_{\text{вых min}}$, при изменении ЭДС на входе в $a = E_{A \text{ max}}/E_{A \text{ min}}$ раз. Обычно величина a лежит в пределах $20\dots10^5$, а p — в пределах $1,2\dots12$.

Степень изменения коэффициента усиления одного каскада под действием АРУ для транзисторных приемников $m_1 \approx 6\dots10$. Таким образом, требуемое изменение коэффициента усиления приемника под действием АРУ $m_{\text{тр}} = a/p$.

Обычно в качестве регулируемых каскадов в радиоприемных устройствах используются усилители промежуточной частоты. Предварительно можно считать все управляемые кас-

Инструкция: $h_{21s} = \Pi\emptyset$, $f_{rp} = |h_{21s}|f_m = \Pi 1$, $\tau_{oc} = \Pi 2$, $C_k = \Pi 3$, $I_s = \Pi 4$, $f_c = \Pi x$, (B/O) С/П БП = h_{116} , $\Pi 8 = \gamma_s$, $\Pi 9 = r_6$, $\Pi a = g_{11s}$, $\Pi b = g_{22s}$, $\Pi c = |Y_{21s}|$, $\Pi d = |Y_{12s}|$, $\Pi 6 = K_{уст}$.

Контрольный пример: Для транзистора КТ315 при $h_{21s} = 50$, $f_{rp} = 2,5 \cdot 10^8$, $\tau_{oc} = 500 \cdot 10^{-12}$, $C_k = 7 \cdot 10^{-12}$, $I_s = 5 \cdot 10^{-3}$, $f_c = 10^6$ получаем $g_{11s} = 2,5048796 \cdot 10^{-3}$, $g_{22s} = 2,7515073 \cdot 10^{-5}$, $|Y_{21s}| = 1,2137502 \cdot 10^{-1}$, $|Y_{12s}| = 4,3982296 \cdot 10^{-5}$, $h_{116} = 8,0571428$, $\gamma_s = 7,0921984 \cdot 10^{-2}$, $r_6 = 142,85714$, $K_{уст} = 23,639496$.

Таблица 5

У параметры	Расчетные формулы	Примечания
g_{11s}	$\frac{1 + h_{21s}\gamma_{rp}\gamma_s}{h_{21s}h_{116}(1 + \gamma_s^2)}$	$h_{116} \approx r_a + \frac{r_6}{h_{21s}},$ $r_a = \frac{0,026}{I_s},$
C_{11s}	$\frac{h_{21s}\gamma_{rp} - \gamma_s}{2\pi f_c h_{21s} h_{116} (1 + \gamma_s^2)}$	$r_6 = \frac{2\tau_{oc}}{C_k}, f_{rp} = h_{21s} r_m,$
g_{22s}	$\frac{2\pi f_c \tau_{oc} \gamma_s}{h_{116} (1 + \gamma_s^2)}$	$f_c = f_{rp} \frac{h_{116}}{r_6}, \gamma_{rp} = \frac{f_c}{f_{rp}},$ $\gamma_s = \frac{f_0}{f_c},$
C_{22s}	$C_k + \frac{\tau_{oc}}{h_{116} (1 + \gamma_s^2)}$	$I_a \approx I_k \approx (0,05 \dots 0,3) I_{k \max},$ $U_k \approx (0,2 \dots 0,6) E_n,$
$ Y_{21} $	$\frac{h_{21s}}{(h_{21s} + 1)h_{116}\sqrt{1 + \gamma_s^2}}$	$\alpha_0 = \frac{h_{21s}}{h_{21s} + 1}.$
$ Y_{12} $	$2\pi f_c C_k$	
$R_{ш}$	$20 \frac{\alpha_0 I_s}{ Y_{21} ^2}$	
$t_{11}g_{11s}$	$20I_s(1 - \alpha_0) + r_6(2\pi f_c C_{11s})^2$	
$K_{уст}$	$0,45 \sqrt{\frac{ Y_{21} }{ Y_{12} }}$	

Программа 3.2. Расчет C_{11s} , C_{22s} , $R_{ш}$, $t_{11}g_{11s}$ биполярного транзистора в схеме с ОЭ.

П7	ИП1	÷	П8	ИП4	÷	ИП5	×	П9	ИП0
ИП8	×	П8	ИП9	—	Па	ИП9	x^2	1	+
П9	ИП7	π	×	2	×	П7	ИП9	×	ИП4
×	ИП9	×	1/x	ИПа	×	Па	ИП9	ИП4	×
1/x	ИП2	×	ИП3	+	Пб	ИП0	1	+	1/x
ИП0	×	П8	ИП9	$\sqrt{-}$	ИП4	×	1/x	ИП8	×
x^2	1/x	ИП6	×	ИП8	×	2	0	×	Пс
1	ИП8	—	ИП6	×	2	0	×	Пd	ИП7
x^2	ИПа	x^2	×	ИП5	×	ИПd	+	Пd	С/П
БП									

Инструкция: $h_{21s} = \Pi\emptyset$, $f_{rp} = \Pi1$, $\tau_{oc} = \Pi2$, $C_k = \Pi3$, $h_{116} = \Pi4$, $r_6 = \Pi5$, $I_s = \Pi6$, $f_c = x$, (В/О) С/П БП Па = C_{11s} , Пб = $= C_{22s}$, Пс = R_w , Пd = $t_{11}g_{11s}$.

Контрольный пример: Для транзистора КТ315 при $h_{21s} = 50$, $f_{rp} = 2,5 \cdot 10^8$, $\tau_{oc} = 500 \cdot 10^{-12}$, $C_k = 7 \cdot 10^{-12}$, $h_{116} = 8,0571428$, $r_6 = 142,85714$, $I_s = 5 \cdot 10^{-3}$, $f_c = 10^6$ получаем $C_{11s} = 50,739056 \cdot 10^{-12}$, $C_{22s} = 68,74616 \cdot 10^{-12}$, $R_w = 6,654895$, $t_{11}g_{11s} = 1,9753093 \cdot 10^{-3}$.

Если коэффициент устойчивого усиления каскада оказывается меньше требуемого, то от схемы с ОЭ следует переходить к каскадной схеме ОЭ—ОБ. При однотипных биполярных транзисторах параметры каскадной схемы ОЭ—ОБ рассчитываются по формулам табл. 6.

Программа 3.3. Расчет $g_{22 \text{ кас}}$, $C_{22 \text{ кас}}$, $|Y_{12 \text{ кас}}|$, $K_{\text{уст}}$ биполярных транзисторов в схеме ОЭ—ОБ.

П8	ИП1	÷	Пd	ИП7	×	ИП4	÷	Пd	x^2
1	+	ИП0	×	ИП4	×	1/x	Пс	ИП9	ИП9
×	ИПd	—	ИП8	×	π	×	2	×	ИП2
×	ИПc	×	Па	ИП9	ИПd	×	ИП0	×	1
+	ИП2	×	ИПc	×	$/-/-$	ИП3	+	Пб	ИП5
x^2	2	,	5	×	ИП5	\div	Пс	$1/x$	ИП5
×	$\sqrt{-}$	0	,	4	5	×	Пd	С/П	БП

Инструкция: $h_{21\alpha} = \Pi\emptyset$, $f_{rp} = \Pi 1$, $\tau_{oc} = \Pi 2$, $C_k = \Pi 3$, $h_{11\beta} = \Pi 4$, $|Y_{21\alpha}| = \Pi 5$, $|Y_{12\alpha}| = \Pi 6$, $r_b = \Pi 7$, $f_c = \Pi X$ (B/O) С/П БП $\Pi a = g_{22\text{кас}}$, $\Pi b = C_{22\text{кас}}$, $\Pi c = |Y_{12\text{кас}}|$, $\Pi d = K_{\text{уст}}$.

Контрольный пример: Для транзисторов КТ315 при $h_{11\beta} = 50$, $f_{rp} = 2,5 \cdot 10^8$, $\tau_{oc} = 500 \cdot 10^{-12}$, $C_k = 7 \cdot 10^{-12}$, $h_{11\beta} = 8,0571428$, $|Y_{21\alpha}| = 1,2137502 \cdot 10^{-1}$, $|Y_{12\alpha}| = 4,3982296 \cdot 10^{-5}$, $r_b = 142,85714$, $f_c = 10^6$ получаем $g_{22\text{кас}} = 1,0015488 \cdot 10^{-6}$, $C_{22\text{кас}} = 5,7475602 \cdot 10^{-12}$, $|Y_{12\text{кас}}| = 3,9844327 \cdot 10^{-8}$, $K_{\text{уст}} = 785,40543$.

Таблица 6

Y параметры	Расчетные формулы
$g_{11\text{кас}}$	$g_{11\alpha}$
$C_{11\text{кас}}$	$C_{11\alpha}$
$ Y_{21\text{кас}} $	$ Y_{21\alpha} = \frac{2\pi f_c \tau_{oc} (h_{21\alpha} Y_{rp} - \gamma_s)}{h_{21\alpha} h_{11\beta} (1 + \gamma_s^2)}$
$ Y_{12\text{кас}} $	$ Y_{12\alpha} = 2,5 \frac{ Y_{21\alpha} ^2}{ Y_{21\alpha} }$
$C_{22\text{кас}}$	$C_k = \frac{\tau_{oc} (1 + h_{21\alpha} Y_{rp} \gamma_s)}{h_{21\alpha} h_{11\beta} (1 + \gamma_s^2)}$
$K_{\text{уст}}$	$0,45 \sqrt{\frac{ Y_{21\text{кас}} }{ Y_{12\text{кас}} }}$

Параметры биполярных транзисторов в преобразователях частоты связаны с параметрами их в режиме усиления в схеме ОЭ следующей экспериментальной зависимостью: $g_{11\text{пр}} \approx g_{11\alpha}$, $C_{11\text{пр}} \approx C_{11\alpha}$, $g_{22\text{пр}} = 0,65 g_{22\alpha}$, $C_{22\text{пр}} \approx C_{22\alpha}$, $|Y_{21\text{пр}}| \approx 0,8 |Y_{21\alpha}|$, $|Y_{12\text{пр}}| \approx 0,25 |Y_{12\alpha}|$.

Для полевых транзисторов с $p-n$ -переходом в справочниках приводятся: S — крутизна характеристики, C_{zi} — входная емкость, C_{zc} — проходная емкость. Выходная емкость транзистора обычно $C_{zi} \approx C_{zc}$. Проводимость истока для наиболее широко используемых транзисторов КП303 и КП307 $g_{11} = 1/r_u = 6,7 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-1}$ и канала $g_k = 1/R_k = 4 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^4$. При расчете параметров учтем, что $C_{11} \approx C_{22} \approx C_{zi}$, $C_{12} \approx C_{zc}$. Остальные параметры полевого транзистора в схеме ОИ можно рассчитать по формулам табл. 7.

Программа 3.4. Расчет параметров g_{11} , g_{22} , g_{21} , $|Y_{12}|$, R_{sh} , K_{ust} полевого транзистора в схеме с ОИ на МК-56 (В-3-34).

П5	π	\times	2	\times	x^2	П6	ИП0	x^2	\times
П7	2	ВП	/—/	2		П3	5	ВП	/—/
П4	ИП2	ИП3	+	П9	x^2	П8	ИП7	4	\times
ИП8	+	$1/x$	П8	ИП3	ИП4	+	ИП2	—	ИП7
\times	ИП8	\times	Па	ИП9	ИП4	\times	ИП3	\times	Пd
ИП3	ИП2	—	ИП7	\times	ИПd	+	ИП8	\times	Пb
ИП2	ИП3	\times	ИП7	+	ИП9	\times	ИП8	\times	Пc
ИП6	γ^-	ИП1	\times	Пd	ИПc	$1/x$	0	,	7
\times	П9	ИПc	ИПd	\div	γ^-	0	,	4	5
\times	П8	С/П	БП						

Инструкция: $C_{zi} = \Pi 0$, $C_{zc} = \Pi 1$, $S = \Pi 2$, $f_c = \Pi x$, (В/О) С/П БП $Pa = g_{11}$, $Pb = g_{22}$, $Pc = g_{21}$, $Pd = |Y_{12}|$, $P9 = R_{sh}$, $P8 = K_{ust}$.

Контрольный пример. Для транзистора КП303 при $C_{zi} = 6 \cdot 10^{-12}$, $C_{zc} = 2 \cdot 10^{-12}$, $S = 4 \cdot 10^{-3}$, $f_c = 10^6$ получаем $g_{11} = 3,9601393 \cdot 10^{-8}$, $g_{22} = 4,1705732 \cdot 10^{-5}$, $g_{21} = 3,3333594 \cdot 10^{-3}$, $|Y_{12}| = 1,256637 \cdot 10^{-5}$, $R_{sh} = 209,99836$, $K_{ust} = 7,3290663$.

Полевой транзистор схемы с ОИ в режиме преобразования имеет входную и выходную проводимости $g_{11n} \approx g_{11}$, $g_{22n} \approx g_{22}$, а $g_{21n} \approx 0,25g_{21}$. В силу резкого уменьшения $|Y_{12}|_n$ в режиме преобразования реализуемый коэффициент усиления оказывается значительно меньше коэффициента устойчивого усиления, что следует учитывать при электрическом расчете такого каскада.

Таблица 7

Y пара метры	Расчетные формулы	Примечания
g_{11}	$\frac{b^2(g_{ii}+g_k-S)}{(S+g_{ii})^2+4b^2}$	$g_{ii}=2 \cdot 10^{-2}$, $g_k=5 \cdot 10^{-5}$, $b \approx 2\pi f_c C_{zi}$
g_{22}	$\frac{g_k g_{ii}(S+g_{ii}) + b^2(g_{ii}-S)}{(S+g_{ii})^2+4b^2}$	
$ Y_{21} \approx$ $\approx g_{21}$	$\frac{(S+g_{ii})(Sg_{ii}+b^2)}{(S+g_{ii})^2+4b^2}$	
$ Y_{12} $	$2\pi f_c C_{zc}$	
R_m	$\frac{0,7}{g_{21}}$	
$K_{уст}$	$0,45 \sqrt{\frac{g_{21}}{ Y_{12} }}$	

3.2. Расчет входных цепей

Число контуров ВЦ определилось при выборе преселектора, входные параметры усилительного прибора первого каскада известны по результатам расчета из формул предыдущего параграфа. Как правило, достаточно использовать одноконтурную ВЦ. Ниже даются некоторые рекомендации к ее расчету.

Как уже отмечалось для профессиональных, телевизионных, радиовещательных УКВ и радиолокационных приемников широко сейчас применяются настроенные антенны с несимметричным фидером с $R_A=75$ Ом. Такая антенна рекомендуется при расчете соответствующих приемников. При этом предлагается выбрать ВЦ с автотрансформаторным включением антенны и усилительного прибора к контуру.

Подробная методика расчета такой ВЦ и программы расчета на ЭВМ приведены в [3]. При необходимости применения симметричной антенны следует использовать трансформаторную связь с антенной, порядок расчета которых изложен в [1].

Радиовещательные приемники ДВ, СВ и КВ диапазонов работают с ненастроенными несимметричными антеннами с параметрами, изменяющимися в широких пределах. В этих случаях рекомендуется при проектировании выбрать схему ВЦ с внешнеемкостной связью с антенной и осуществить в соответствии с методикой [3]. Так как в задании на КП нет параметров используемой антенны, то следует ориентироваться на некоторую гипотетическую усредненную по параметрам антенну [4]. Эквивалентная схема антенны приведена на рис. 6. Здесь $R_1 = 50 \text{ Ом}$, $C_1 = 125 \cdot 10^{-12} \Phi$, $R_2 =$

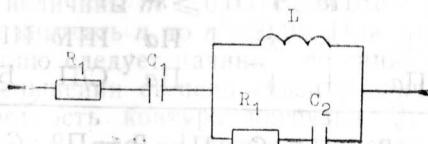


Рис. 6

$= 320 \text{ Ом}$, $C_2 = 400 \cdot 10^{-12} \Phi$, $L = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$. Для расчета ВЦ по [4] необходимо знать $\max |Z_A|$ в принимаемом диапазоне частот $f_{c \min} \dots f_{c \max}$. Практически достаточно найти $|Z_A|$ в трех точках диапазона ($f_{c \min}$, $f_{c \text{ср}}$, $f_{c \max}$) и выбрать максимум среди них. В соответствии со схемой модуль комплексного сопротивления на произвольной частоте сигнала f_c будет

$$|Z_A| = \sqrt{\left(R_1 + \frac{L \left(\frac{1}{R_2 C_2} + 2\pi f_c \xi_2 \right)}{1 + \xi^2} \right)^2 + \left(R_1 \xi_1 - \frac{\xi_2 L \left(\frac{1}{R_2 C_2} + 2\pi f_c \xi_2 \right)}{1 + \xi^2} \right)^2},$$

$$\xi_1 = \frac{\sqrt{\frac{L}{C_1}}}{R_1} \left(\frac{f_c}{f_1} - \frac{f_1}{f_c} \right), \quad f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_1}},$$

$$\xi_2 = \frac{\sqrt{\frac{L}{C_2}}}{R_2} \left(\frac{f_c}{f_2} - \frac{f_2}{f_c} \right), \quad f_2 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_2}}.$$

Приведем программу расчета $|Z_A|$ для МК-56 (В-3-34).
Программа 3.5. Расчет $|Z_A|$

π	\times	2	\times	П5	ИП4	ИП1	\times	$\sqrt{-}$	1/x
Пб	ИП4	ИП1	\div	$\sqrt{-}$	ИП0	\div	П7	ИП5	ИП6
\div	\uparrow	1/x	$-$	ИП7	\times	ИП0	\times	П6	ИП4
ИП3	\times	$\sqrt{-}$	1/x	П7	ИП4	ИП3	\div	$\sqrt{-}$	ИП2
\div	П8	ИП5	ИП7	\div	\uparrow	1/x	$-$	ИП8	\times
П7	ИП2	ИП3	\times	1/x	П9	ИП5	ИП7	\times	ИП9
$+$	ИП4	\times	Пб	ИП7	x^2	1	$+$	1/x	ИПь
\times	Пб	ИП0	$+$	x^2	Па	ИПб	ИП7	\times	ИП6
$-$	x^2	ИПа	$+$	$\sqrt{-}$	Па	С/П	БП		

Инструкция: $R_1 = \Pi_0$, $C_1 = \Pi_1$, $R_2 = \Pi_2$, $C_2 = \Pi_3$, $L = \Pi_4$, $f_c = 1/x$, (В/О) С/П БП ПХ, $Pa = |Z_A|$.

Контрольный пример: Для $f_c = 10^6$ получаем $|Z_A| = 1125,9698$.

В простых переносных радиовещательных приемниках ДВ и СВ диапазона используют ферритовые антенны. Тогда ВЦ рассчитывается по методике, приведенной в [1, 2]. Там же можно найти расчеты других схем ВЦ при ненастроенных антенах, полезно при этом использовать также указания [5].

3.3. Расчет усилителя радиочастоты

В современных радиоприемниках с высокой реальной чувствительностью, как правило, достаточно применение одного каскада усилителя радиочастоты (УРЧ). Для обеспечения высокой шумовой чувствительности (E_A и P_A в задании) достаточно иметь коэффициент усиления каскада $K_0 \geq 5$. Рекомендуется схема УРЧ с ОЭ с одним контуром в нагрузке с автотрансформаторным включением с выходом усилительного прибора каскада и со входом следующего каскада. Минимальная емкость контура $C_{k\min}$ выбирается одинаковой с ВЦ, соответственно аналогичны с величинами ВЦ индуктивность

Ли максимальная емкость $C_{k \max}$. После выбора усилительного прибора по соотношению 3.1 известны Y параметры и устойчивый коэффициент усиления K_{ust} . При расчете каскада с учетом вышесказанного должна выполняться система неравенств $5 \leq K_0 \leq K_{ust}$. Если в результате расчетов K_0 окажется меньше 5, то следует переходить к каскадной схеме включения усилительных приборов. После расчета преселектора известна величина подавления зеркального канала, осуществляющаяся в каскаде УРЧ σ_{z_k} . Соотношения, по которым осуществляется электрический расчет УРЧ, приведены в табл. 8. Расчет осуществляется на средней частоте диапазона $f_{c sr}$. Если окажется, что $K_{0 \max} > K_{ust}$, то необходимо уменьшать коэффициенты связи m и n до выполнения неравенства $K_0 \leq K_{ust}$. Рекомендуется следующий порядок: при применении биполярных транзисторов следует уменьшать m с заданным числом (обычно достаточно брать шаг величиной 0,05) вплоть до величины $m' \leq 0,05$. Если этого не хватит, необходимо также снижать n до $n' \leq 0,05$. При полевом транзисторе эту операцию следует начинать со снижения n до $n' \leq 0,05$. При уменьшении степени связи увеличивается эквивалентная добротность контура нагрузки Q_s' и, соответственно, σ_{z_k}' . Формулы для их расчета приведены в табл. 8. Завершается расчет определением коэффициента усиления в трех точках диапазона ($f_{c max}$, $f_{c min}$, $f_{c sr}$) и построением графика. Для УРЧ, как и для последующих каскадов необходимо произвести расчет элементов цепей смещения, термостабилизации и развязки по существующей методике [1]. В завершение составляется полная принципиальная схема каскада УРЧ.

Приведем программы расчета УРЧ на МК-56 (В-3-34).

Программа 3.7. Расчет Q_s , D , $R_{k \max}$, $R_{k sr}$, $R_{k min}$.

x^2	1	—	$\sqrt{-}$	П6	ИП4	2	\times	ИП0	+
ИП0	\div	\uparrow	$1/x$	—	$1/x$	ИП6	\times	Па	$1/x$
ИП2	\times	Пб	π	2	\times	ИП3	\times	ИП2	\times
П6	ИП0	\times	Пс	ИП6	ИП1	\times	П9	ИПс	+
2	\div	Пd	С/П	БП					

Инструкция: $f_{c max} = \Pi 0$; $f_{c min} = \Pi 1$, $Q_k = \Pi 2$, $L = \Pi 3$, $f_n = \Pi 4$, $\sigma_{z_k} = \Pi x$, (B/O) С/П БП $Q_s = \Pi a$, $D = \Pi b$, $R_{k \max} = \Pi c$, $R_{k sr} = \Pi d$, $R_{k min} = \Pi 9$.

нала изображения. Промежуточная частота звука получается равной 6,5 МГц. Сигналы звукового канала с частотной модуляцией усиливаются в УПЧ звука, ограничиваются и демодулируются в частотном детекторе (ЧД), а затем после УНЧ поступают на громкоговоритель. Сигналы изображения после видеоусилителя (ВЧ) управляют яркостью луча приемной электронно-лучевой трубы. Синхронизирующие им-

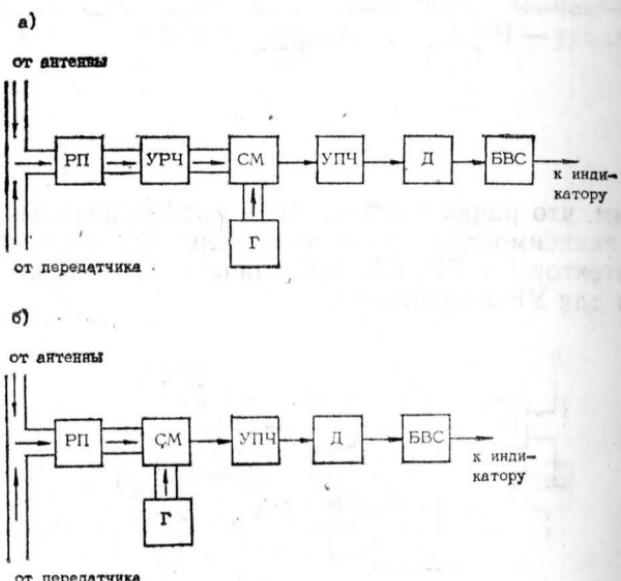


Рис. 4

пульсы выделяются блоком синхронизации (БС) и используются для формирования в блоке разверток (БР), управляющих разверткой луча кинескопа импульсных последовательностей.

Радиолокационные приемники в подавляющем большинстве выполняются по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты (рис. 4, а, б), где БВС — блок видеосигналов. Антенна подключается к приемнику через переключатель (разрядник РП), автоматически подключающий антенну с передачи на прием и обратно.

бирательность по соседнему каналу. Проектирование профессионального приемника следует начинать со схемы с однократным преобразованием частоты и переходить к схеме с двухкратным преобразованием в случае, если невозможно выполнить заданные технические требования.

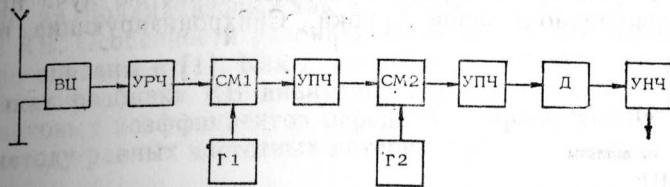


Рис. 2

Заметим, что радиовещательные и профессиональные приемники в зависимости от диапазона включают в себя амплитудные детекторы в ДВ, СВ, КВ диапазонах либо частотные детекторы для УКВ диапазона.

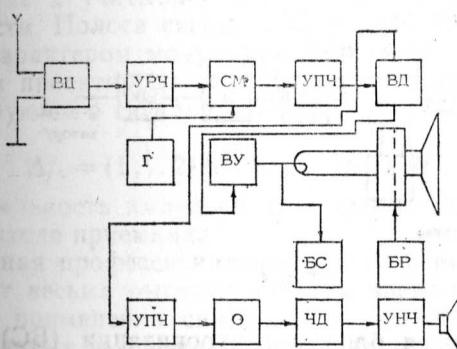


Рис. 3

Телевизионные приемники, как правило, выполняются с общим трактом усиления сигналов изображения и звука. В таком приемнике (рис. 3) суммарный сигнал проходит через общий высокочастотный тракт. Видеодетектор помимо детектирования сигнала изображения выполняет функцию преобразования для сигнала звука. Колебаниями гетеродина для преобразования служит сигнал с несущей частотой ка-

2.2 Определение числа поддиапазонов

При разделении общего диапазона на поддиапазоны необходимо найти их число, границы и коэффициенты перекрытия. Диапазоны ДВ (150...408 кГц), СВ (525...1605 кГц) и УКВ (65,8...73 мГц) на поддиапазоны не делят. Разделение на поддиапазоны, как правило, происходит в диапазоне КВ. Особенности разбивки несложны и достаточно подробно описаны в [1]. Как правило, в радиовещательных приемниках разбивка КВ диапазона осуществляется по методу одинаковых коэффициентов передачи, в профессиональных — по методу равных частотных интервалов.

2.3. Расчет сквозной полосы пропускания приемника

Полоса пропускания высокочастотного тракта $\Delta F_{вч}$ супергетеродинного приемника определяется полосой частот Δf_c , занимаемой полезным сигналом, и величиной нестабильности по частоте канала приема Δf_n

$$\Delta F_{вч} = \Delta f_c + 2f_n,$$

где множитель 2 учитывает случайный характер частотной нестабильности. Полоса сигнала Δf_c определяется видом модуляции и характером модулирующего сигнала. Она обычно задается при проектировании либо вычисляется по параметрам модулирующего сигнала, например, в радиолокационных приемниках

$$\Delta f_c = (1 \dots 2)/\tau \quad \text{или} \quad \Delta f_c = 1/t_y,$$

где τ — длительность импульса, t_y — время установления импульса на выходе приемника.

Современная профессиональная приемопередающая аппаратура имеет весьма высокую степень частотной стабилизации за счет применения синтезаторов частот. Поэтому для профессиональных и радиолокационных приемников можно полагать

$$\Delta F_{вч} \approx \Delta f_c.$$

Для радиовещательных и телевизионных приемников, вообще говоря, следует учитывать соответствующие элементы канала приема при определении Δf_n . Однако такой путь оказывается сложным и весьма приближенным. Практика показывает, что Δf_n имеет порядок одной-двух десятых от полосы сигнала, т. е.

$$\Delta F_{вч} \approx (1,1 \dots 1,2) \Delta f_c.$$

2.4. Выбор структуры первых каскадов преселектора и числа преобразований частоты

В супергетеродинных приемниках подавление зеркального канала и канала на промежуточной частоте обеспечивается селективными элементами преселектора, а помехи по соседнему каналу — селективными элементами усилителя промежуточной частоты.

В простейшем случае преселектор может состоять из одноконтурной входной цепи. Это характерно для большинства простых радиовещательных приемников (рис. 5, а). Профессиональные и радиовещательные приемники высокого класса имеют в составе преселектора в большинстве случаев два контура, входящие в состав входной цепи (рис. 5, б) либо одноконтурной входной цепи и нагрузки УРЧ (рис. 5, в).

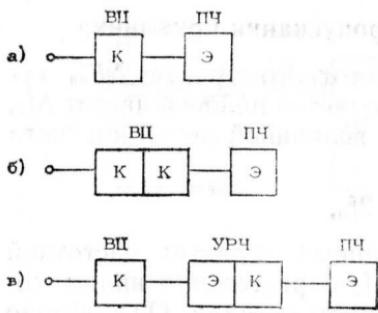


Рис. 5

В дальнейшем ограничимся рассмотрением схем приема с числом контуров (не более двух) в преселекторе. Требуемую степень подавления зеркального канала следует при этом осуществлять за счет применения двухкратного преобразования частоты при соответствующем выборе номиналов промежуточных частот.

Как известно [1], величина подавления зеркального канала при многоконтурном преселекторе может быть оценена с помощью следующего соотношения:

$$\sigma_{зк} = \sqrt{1 + Q_s \left(\frac{f_{c\ max} + 2f_n}{f_{c\ max}} - \frac{f_{c\ max}}{f_{c\ max} + 2f_n} \right)^2}^n,$$

где Q_s — эквивалентная добротность нагруженных контуров преселектора, f_n — номинал промежуточной частоты, $f_{c\ max}$ — максимальная частота принимаемого сигнала, n — число контуров преселектора. В диапазонах КВ и УКВ в среднем бу-

дем принимать $Q_{\text{з}} = 50$. При заданном значении $\sigma_{\text{зк}}$ из этого соотношения можно найти нижнюю границу для значения первой промежуточной частоты:

$$f_{n \min} = \frac{f_{c \max}}{2} \left(\frac{a-2}{2} + \sqrt{\left(\frac{a-2}{2}\right)^2 + a} \right),$$

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2}{\sigma_{\text{зк}} n} - 1}}{Q_{\text{з}}}.$$

Примерный порядок расчета следующий: найдем $f_{n \min}$ при $n=1$, если

$$f_{n \min} \leq 4,65 \cdot 10^5 \text{ Гц},$$

где $f_{n \min} = 4,65 \cdot 10^5$ Гц широко распространенный стандарт первой промежуточной частоты для радиовещательных приемников в нашей стране, то останавливаемся на схеме рис. 5, а при $f_{n1} = 4,65 \cdot 10^5$ Гц. Если неравенство не выполняется, то следует перейти к $n=2$. Если при этом неравенство выполнено, то следует использовать схему рис. 5, б или 5, в (окончательное решение в пользу той или иной схемы будет принято после оценки чувствительности). При невыполнении неравенства следует переходить к использованию схемы двухкратного преобразования частоты с первой промежуточной частотой $f_{n1} \approx f_{n \min}$ и второй промежуточной частотой $f_{n2} = 4,65 \cdot 10^5$ Гц либо $f_{n2} = 5 \cdot 10^5$ Гц. Выбрав номиналы частот f_{n1} и f_{n2} , следует по приведенному выше выражению оценить величину подавления по зеркальному каналу $\sigma_{\text{зк}}$.

При выборе промежуточной частоты удобно расчеты осуществлять на МК-56 (В-3-34), соответствующая программа 2.1 представлена ниже.

Программа 2.1. Расчет промежуточной частоты.

1	П3	ПП	33	ИП6	4	,	6	5	ВП
5	П7	—	$x \leq 0$	21	ИП7	С/П	БП	0	0
0	ИП3	1	+	П3	ПП	33	ИП6	С/П	БП
0	0	0	ИП1	2	0	÷	10 ^x	П7	2
ИП3	÷	ИП7	x^y	1	—	$\sqrt{-}$	ИП2	÷	П4
2	—	2	÷	П5	x^2	ИП4	+	$\sqrt{-}$	ИП5
+	ИП0	×	2	÷	П6	В/О			

Инструкция: $f_{c\max} = \text{П0}$, $\sigma_{зк} = \text{П1}$, $Q_s = \text{П2}$, (В/О) С/П БП ИПЗ = n , ИПВ = $f_{n\min}$. Ввод $\sigma_{зк}$ в дБ.

Контрольный пример: При $f_{c\max} = 1,6 \cdot 10^6$, $\sigma_{зк} = 45$, $Q_s = 50$ находим $n = 2$, $f_{n\min} = 113423,44$.

2.5. Выбор первых каскадов приемника

Первые каскады в значительной степени определяют чувствительность приемника. Для обеспечения высокой чувствительности требуется применение, как правило, одного каскада УРЧ после ВЦ.

Для оценки необходимости применения каскада УРЧ в преселекторе профессиональных и телевизионных приемников следует использовать следующее неравенство:

$$N = \frac{E_A^2}{4kT_0 P_{ш} R_A \gamma} \leqslant 200,$$

для радиолокационных приемников

$$N = \frac{P_A}{kT_0 P_{ш} \gamma} \leqslant 5,$$

где E_A и P_A — требуемая чувствительность приемника соответственно в В и Вт; $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ произведение постоянной Больцмана на стандартную температуру $T_0 = 290$ К, Вт/Гц; $P_{ш} \approx 1,1 \Delta F_{вч}$ — эффективная шумовая полоса, Гц; γ — минимальное допустимое отношение сигнала к шуму по мощности на выходе; R_A — активное сопротивление антенны, Ом; N — коэффициент шума приемника. Величина γ для профессиональных приемников выбирается в среднем равной 10; для телевизионных приемников в канале изображения $\gamma = 1000$ и звука $\gamma = 100$; для радиолокационных приемников следует выбирать $\gamma = 3$. В случае высоких требований по подавлению зеркального канала $\sigma_{зк}$ допускается использование одного каскада УРЧ при невыполнении вышеприведенных неравенств. Сопротивление антенны для профессиональных, телевизионных, радиовещательных УКВ и радиолокационных приемников в соответствии с современными тенденциями следует брать равным $R_A = 75$ Ом.

2.6. Определение избирательной системы тракта промежуточной частоты

После оценки минимального значения промежуточной частоты (см. 2.4) необходимо принять решение о количестве и номиналах промежуточных частот приемника, а также определить вид избирательной системы тракта, обеспечивающей требуемую фильтрацию сигнала и заданное подавление соседнего канала.

Современные требования к радиовещательным приемникам приводят, как правило, к необходимости одного преобразования частоты. При этом в зависимости от диапазона принимаемых частот сформулированы требования на номиналы промежуточных частот, которых и следует придерживаться при расчете КП. Для радиовещательных приемников ДВ, СВ и КВ диапазона принимается номинал $f_p = 4,65 \cdot 10^5$ Гц, для УКВ (65...63 МГц) $f_p = 10,7$ МГц.

Построение тракта последней ПЧ основано на двух принципах, справедливых для любых радиоприемников: первый заключается в распределении селективности и усиления между всеми каскадами УПЧ, второй — в разделении между каскадами этих функций. С точки зрения качества функционирования приемника второй принцип является безусловно перспективным. При этом необходимая селективность (по сигналу и соседнему каналу) создается фильтром сосредоточенной селекции (ФСС), включаемым после смесителя, а требуемое усиление обеспечивается последующими каскадами УПЧ со слабой избирательностью. Такая система, как показывает практика, является наиболее подходящей по большинству основных показателей, чем система с распределенной избирательностью. В частности даже ФСС на LC-элементах с n контурами с точки зрения основного параметра — селективности оказывается лучше, чем система каскадно-соединеных K одинаковых фильтров с n/K количеством контуров в каждом [2]. Особенno эффективным оказывается использование в современных радиоприемниках различных малогабаритных высококачественных фильтров, выпускаемых в настоящее время в широком ассортименте промышленностью. Построение УПЧ по первому принципу допустимо лишь в простых радиовещательных радиоприемниках, а также для радиолокационных и телевизионных приемников.

Итак, возвращаясь к расчету УПЧ радиовещательных приемников, необходимо, прежде всего, ориентироваться на применение специальных ФСС. В табл. 2 и 3 приведены некоторые сведения по пьезоэлектрическим фильтрам. В этих таблицах $\sigma_{\text{пп}}$ затухания в полосе пропускания, $R_{\text{вх}}$ и $R_{\text{вых}}$ соответственно входное и выходное сопротивление фильтра, $C_{\text{ш}}$ — шунтируется емкость, $K_{0,05}$ коэффициент прямоугольности на уровне 0,05.

Таблица 2

Параметры	Тип			
	ФП1-022	ФП1П-023	ФП1П-026	ФП1П-041
$f_{\text{п}}$, кГц	465 ± 2	465 ± 2	465 ± 2	465 ± 2
$\Delta F_{\text{вч}}$, кГц	$12,5 \pm 2$	$9,5 \pm 2$	$8,5 \pm 2$	$5,8 \pm 1,2$
σ_c , дБ	26	40	26	55
$\sigma_{\text{пп}}$, дБ	9,5	9,5	9,5	9,5
$R_{\text{вх}}$, кОм	2	2	2	2
$R_{\text{вых}}$, кОм	2	2	2	2

Таблица 3

Тип	Параметры						
	$f_{\text{п}}$, МГц	$\Delta F_{\text{вч}}$, кГц	$K_{0,05}$	$\sigma_{\text{пп}}$, дБ	$R_{\text{вх}}$, Ом	$R_{\text{вых}}$, Ом	$C_{\text{ш}}$, пФ
ФП1П-049а	$10,7 \pm 0,1$	175 ± 25	3	10	330	330	20
ФП1П-049б	$10,7 \pm 0,1$	240 ± 40	2,5	10	330	330	20

В табл. 4 даны параметры для электромеханических фильтров. Особенностью включения электромеханических фильтров является обязательная настройка входа и выхода с помощью внешних емкостей на номинал промежуточной частоты. Если в приведенных таблицах не удается найти подходящий фильтр с точки зрения требуемых значений полосы пропускания и подавления соседнего канала, то следует применять ФСС на LC-элементах. Весьма подробные методики расчета таких фильтров приведены в [1, 2] и др. Для простых радиовещательных приемников можно использовать УПЧ с избирательными системами вида пары связанных контуров либо просто одноконтурными системами.

Таблица 4

Тип				
Параметры	ЭМПФ-5-465-6	ЭМПФ-5-465-7	ЭМПФ-5-465-9	ЭМПФ-5-465-13
f_p , кГц	465 ± 2	465 ± 2	465 ± 2	465 ± 2
$\Delta f_{\text{вЧ}}$, кГц	$6 \pm 0,4$	$7 \pm 0,5$	$9 \pm 0,6$	$13 \pm 0,8$
σ_e , дБ	56	35	42	26
$\sigma_{\text{пп}}$, дБ	8,5	14	7	8
$R_{\text{вых}}$, кОм	10	50	10	10
$R_{\text{вых}}$, кОм	1	10	1	1

При расчете профессиональных КВ приемников в большинстве случаев потребуется применение двухкратного преобразования частоты. При этом номинал первой промежуточной частоты выбирается вблизи $f_{\text{p min}}$, если последняя ниже $f_{\text{c min}}$, и выше $f_{\text{c max}}$, если $f_{\text{p min}}$ попадает в принимаемый диапазон частот. Вторая промежуточная частота для удобства выбирается равной $f_{\text{p2}} = 465$ кГц. Избирательная система в тракте второй промежуточной частоты может быть выбрана в виде пьезоэлектрических фильтров из табл. 2, электромеханических фильтров по табл. 4 либо ФСС на LC-элементах [1, 2]. Для УКВ приемников можно использовать фильтры по табл. 3 либо ФСС на LC-элементах.

Тракт УПЧ телевизионных и радиолокационных приемников следует строить с использованием ФСС на LC-элементах либо, при невысоких требованиях по селективности, использовать двухконтурные или одноконтурные избирательные системы LC.

2.7. Выбор электронных приборов для высокочастотного тракта

В качестве таких приборов используют тунNELНЫЕ и параметрические диоды, биполярные и полевые транзисторы, аналоговые интегральные микросхемы (ИМС).

УПЧ и детекторы всех приемников целесообразно выполнять на ИМС.

В приемниках АМ-сигналов используют: а) в качестве УПЧ—ИМС типа К118УН1 (А...Д), К118УД1 (А...В), 219УР1, 235УР3, 235УР9, 235УР7, 235УР11, К237ХК1, К237ХК2; б) в качестве детекторов — 119ДА1 (А, Б), К119ДА1, К175ДА1, 218ДА1, К218ДА1, К2ДА243, 235ДА1, 235ДА2, К237ХК2.

В приемниках ЧМ-сигналов выполняют: а) УПЧ — на ИМС типов К174УР1, 218УР1, К218УР1, К2УС248, К2УС2416, 228УВ1, К228УВ1, 228УВ2, К228УВ2, 228УВ3, К228УВ3, 235УВ2, 235УР8, К237УН5, К237ХК6; б) детектор — на ИМС типов К174УР3, 219ДС1, 235ДС1, К174УР1.

В телевизионных (канала изображения) приемниках УПЧ с видеодетектором можно выполнить на ИМС типа К174УР2 (А, Б), УПЧ с отдельным диодным видеодетектором — на ИМС типа К2УС247.

В радиолокационных приемниках УПЧ можно выполнить: а) при $f_n \leq 40$ МГц на ИМС 175УВ1 (А, Б), К175УВ1 (А, Б), 175УВ2, К175УВ2 (А, Б), 219УВ1 (А, Б); б) при $f_n \leq 60$ МГц на ИМС 228УВ (1...4), К228УВ (1...4), 265УВ (1...6), К265УВ (1...6); в) при $f_n \leq 80$ МГц на ИМС 265УВ7, К265УВ7; г) при $f_n \leq 100$ МГц на ИМС 235ХА6; д) при $f_n \leq 200$ МГц на ИМС 235УР7, 235УР11. Детекторы импульсов в радиолокационных приемниках обычно выполняют на диодах.

УРЧ и ПЧ в профессиональных приемниках умеренно высоких частот можно выполнять на ИМС, если $N_{\text{пр}} \geq 50$. Можно использовать ИМС типа 175УВ4, К175УВ4, 175УВ2 (А, Б), 219УВ1 (А, Б), К2УС242, К2УС247, К2УС248, К2УС2416, К2УС2413, 228УВ (1...3), К228УВ (1...3), 235УВ1 (А, Б), 235УР2, 235УР3, 235УР8, 235УР9, 235ХА6, 235УР7, 235УР11, 235ПС1, 235ПС2, К237ХК1, 265УВ1, К265УВ1, 265УВ2, К265УВ2, 265УВ3, К265УВ3, 265УВ5 и К265УВ5 (малошумящие), 265УВ4, К265УВ4, 265УВ6 и К265УВ6 (малошумящие). Эти ИМС целесообразно использовать в УРЧ и ПЧ радиовещательных АМ и ЧП приемниках. Кроме того, целесообразно применять ИМС типов К2ЖА242 и К237ХК5 для ПЧ АМ и ЧМ сигналов соответственно.

Если $N_{\text{пр}} \leq 50$, то в профессиональных приемниках УРЧ и ПЧ надо выполнять на транзисторах:

а) в диапазонах ДВ и СВ — типов 2Т301 (Г...Ж), КТ358 (А...В), КТ301 (Г...Ж), КТ601А (АМ), К1605 (А, АМ, Б, БМ), КТ630 (А...Е), ГТ309 (А...Е);

б) в диапазонах ДВ и СВ первый каскад УРЧ целесообразно выполнять на малошумящих транзисторах ГТ322 (А, Б, В) или ГТ310 (А...Е);

в) в диапазоне КВ — типов КТ314А-2, КТ339А, КТ340 (А...Д), КТ342 (А...Б), КТ373 (А...Г), КТ375 (А...Б), КТ603 (А...Е), 21603 (А...Е), КТ608 (А, Б), 2Т608 (А, Б), КТ343 (А...Б), КТ345 (А...Б), КТ350А, КТ351 (А, Б), КТ352 (А, Б), КТ357 (А...Г), КТ361 (А...Е);

г) в диапазоне КВ первый каскад УРЧ целесообразно выполнять на малошумящих транзисторах КТ359 (А...В), КТ3108 (А...В), 2Т368 (А, Б), КТ368 (А, Б), КТ633Б;

д) в диапазоне УКВ — транзисторах типов 2Т355А, КТ355А, ГТ329 (А, Б), ГТ329 (А, Б), 2Т371А, КТ371А;

е) в диапазоне УКВ первый каскад УРЧ целесообразно выполнять на малошумящих транзисторах 2Т382 (А, Б), КТ382 (А, Б), КТ399А, 2Т3120А, КТ3120А.

В радиолокационных приемниках УРЧ и смесители на транзисторах по каскадной схеме целесообразно применять до частот 4...5 ГГц. Рекомендуется использование малошумящих СВЧ транзисторов (при $N_{np} \geq 10$) типов ГТ341 (А...В), ГТ341 (А...В), ГТ362 (А, Б), 2Т372 (А...В), КТ372 (А...В), ГТ383 (А...В) — 2, ГТ383 (А...В) — 2, ГТ387 (А, Б) — 2, КТ391 (А...В) — 2, КТ3101А — 2, ГТ3110А — 2, 2Т3115 (А, Б) — 2, КТ3115 (А, В, Г) — 2, КТ640 (А...В) — 2. Если $N_{np} \leq 10$, то УРЧ следует выполнять на параметрических диодах, а смесители — на смесительных диодах.

2.8. Распределение усиления между трактами радиоприемника

Коэффициент усиления высокочастотного радиоприемника определяется выбранными ИМС тракта ПЧ. В приемниках АМ сигналов на входе детектора надо обеспечить 0,2...0,5 В, а на входе УПЧ — не более 0,5...10 МВ. В приемниках ЧМ сигналов и телевизионных (канал звука) на входе УПЧ надо иметь не более 100 мкВ. В телевизионных (канал изображения) приемниках на входе УПЧ нельзя иметь более 100 Мв. Учитывая, что коэффициент передачи смесителя составляет 4...6, выясняем максимальный сигнал на его входе $U_{bx\text{ см max}}$. В результате коэффициент усиления преселектора

$$K_{pr} = K_{vz} \cdot K_{urc} = (2 \dots 3) U_{bx\text{ см max}} / E_A / 2,$$

ГОСТ 20900-90

Предпоследняя цифра шифра	Параметры	Профессиональный приемник			Радиовещатель ПОСЛЕДНЯЯ шифра
		1	2	3	
1	А	2,57...6,1	2...19	150...350	0,52...1,6
	Б	2,4	1,5	10	300
	В	68/30	60/60	22/3	20/20
	Г	80	70	34	26
	Д	3	6	180	7,0
	Е	70/7	60/6	26/12	35/10
	Ж				
	З				
	И				
	А	6,0...12,0	2,45...6,4	450...600	0,52...1,6
2	Б	1,9	1,2	9	150
	В	65/50	50/40	42/3,5	46/46
	Г	85	70	45	34
	Д	2	3	240	8,0
	Е	60/6	80/12	56/6	40/12
	Ж				
	З				
	И				
	А	2,15...6,1	1,4...3,5	90...220	0,52...1,6
	Б	3	2,2	6	50
3	В	70/46	60/50	30/2	50/60
	Г	90	70	40	40
	Д	1	0,8	150	6,0
	Е	80/8	68/6	60/10	60/8
	Ж				
	З				
	И				
	А	5,5...10	7,1...14	250...400	0,15...0,408
	Б	1,0	5	9	250
	В	80/80	68/40	36/3	30/32
4	Г	85	70	40	25
	Д	3	2	240	8,0
	Е	70/6	60/7	60/12	40/12
	Ж				
	З				
	И				

ВВЕДЕНИЕ

Цель методических указаний — оказать помощь студентам заочной формы обучения специальности 0701 при выполнении ими курсового проекта по дисциплине «Радиоприемные устройства». Практические навыки, полученные в процессе проектирования реальной радиоприемной аппаратуры, способствуют лучшему усвоению теоретического материала, предусмотренного программой.

Методические указания содержат общие требования к курсовому проекту, перечень рекомендаций о последовательности и методике выполнения всего комплекса работ, задания на курсовые проекты, методику эскизного проектирования радиоприемного устройства и методику расчета функциональных узлов и отдельных каскадов радиоприемника. Тематика курсовых проектов охватывает большую часть вопросов, предусмотренных рабочей программой курса, включая проектирование четырех видов приемников: профессиональных, радиовещательных, телевизионных и радиолокационных. Методика расчета радиоприемного устройства ориентирована на активное использование студентами материала учебников [1 и 4]. Из дополнительной литературы студенты могут получить недостающую при проектировании информацию справочного характера, углубить знания по теории и расчету радиоприемных устройств. Для выполнения необходимых расчетов в методические указания включены разработанные авторами вычислительные программы для широко распространенных микрокалькуляторов МК-56 (ВЗ-34), что значительно облегчает вычислительную часть работы над проектом. Примеры расчетов позволяют контролировать правильность проводимых вычислений.

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПРОЕКТА

Курсовой проект в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105—79 выполняется в следующем порядке:

- эскизное проектирование;
- рабочее электрическое проектирование;
- оформление технической документации.

Задание на курсовой проект.

Исходные данные для выполнения курсового проекта приведены в табл. 1. Вариант задания определяется по двум

Утверждено редакционно-издательским советом института

УДК 621.396.62(076.5)

Радиоприемные устройства: Методические указания к курсовому проектированию. — Л.: СЗПИ, 1988. 42 с.

Библиогр. 11.

В методических указаниях изложены вопросы проектирования радиоприемных устройств разных типов: профессиональных, телевизионных и радиолокационных. Представлена методика выбора структурной схемы радиоприемника, даны рекомендации по расчету его каскадов и результатирующих характеристик.

Рассмотрено на заседании кафедры радиоустройств 24 сентября 1987 г., одобрено методической комиссией 28 сентября 1987 г.

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра радиотехники ЛПИ им. М. И. Калинина,
(зав. кафедрой И. А. Цикин);
В. А. Богданович, д-р техн. наук, проф.

С о с т а в и т е л и:

И. С. Андронов, д-р техн. наук, проф.;
Ю. К. Выбоддин, ассист.

Издательство Университета
имени М. И. Калинина
— 10,0

Таблица 1

ный приемник цифра студента	Телевизионный приемник		Радиолокационный приемник	
	канал изобра- жения	канал звука		
5	6	7	8	9 0
9,5...12,1	65,8...73,0	198,0...206,0	198,0...206,0	10 000
50	30	400	40	$3 \cdot 10^{-13}$
20/35	40/3	50/2,5	40/2,5	
35	45	40	30	
10,0	150	5500	180	
35/12	45/5	40/4	45/4	
				1,5
				0,1
				1,3
7,1...9,77	65,8...73,0	190,0...198,0	190,0...198,0	700
100	20	350	30	$4 \cdot 10^{-12}$
20/30	30/3	50/2,5	45/2,5	
35	40	40	40	
10,0	240	5000	170	
50/12	50/10	50/5	35/4	
				8,6
				1,0
				2,0
7,1...9,77	65,8...73,0	182,0...190,0	182,0...190,0	675
150	40	350	30	10^{-12}
16/40	60/2	30/4,0	50/3,0	
25	40	35	30	
12,0	150	6500	160	
40/10	50/12	50/3	45/4	
				2,0
				0,4
				1,3
7,1...9,77	65,8...73,0	174,0...182,0	174,0...182,0	600
50	50	300	20	$9 \cdot 10^{-12}$
20/35	26/2,4	50/2,5	40/2,5	
35	34	30	35	
8,0	240	5000	140	
40/10	35/12	45/4	50/3	
				3,0
				0,4
				1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ

Предпоследняя цифра шифра	Параметры	Профессиональный приемник			Радиовещатель
		1	2	3	
9	9	1	2	3	4
0008	А	3,0...10,1	3,27...8,2	50...200	0,15...0,408
и-01-9	Б	1,2	1,6	6	100
	В	70/60	60/50	40/2	46/46
	Г	80	60	45	34
5	Д	0,8	1,6	120	9,0
	Е	60/6	70/8	60/10	40/12
	Ж				
	З				
	И				
0001	А	4,9...9,1	3,3...8,4	350...600	0,15...0,408
и-01-0	Б	1,9	2	9	200
	В	60/50	60/40	44/2	26/26
	Г	70	80	40	26
6	Д	1,5	3	240	10,0
	Е	70/8	70/12	56/12	26/12
	Ж				
	З				
	И				
0006	А	0,1,1...3,0	0,7,1...14	150...370	0,15...0,408
и-01	Б	1	3	20	300
	В	65/70	60/56	24/3	20/20
	Г	75	70	34	26
7	Д	1	3	120	8,0
	Е	80/12	60/8	54/10	30/12
	Ж				
	З				
	И				
0008	А	0,14,5...18	0,2,45...6,3	200...500	0,15...0,408
и-01-8	Б	1,8	2	9	150
	В	60/60	55/40	36/4	46/46
	Г	8	60	40	34
8	Д	3	2	240	7,0
	Е	70/8	60/8	56/10	40/12
	Ж				
	З				
	И				

Продолжение табл. 1

ный приемник		Телевизионный приемник		Радиолокационный приемник	
		канал изображения	канал звука		
5	6	7	8	9	0
3,95...6,2	65,8...73,0	92,0...100,0	92,0...100,0	1300	625
80	30	400	20	$3 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^{-11}$
24/50	20/3	45/3,0	45/3,0		
40	26	40	40		
7,0	150	6500	150		
50/10	35/10	35/4	45/5		
				9,0	2,0
				1,2	0,4
				1,6	1,6
3,95...6,2	65,8...73,0	84,0...92,0	84,0...92,0	1200	1500
120	10	400	15	$2 \cdot 10^{-13}$	$4 \cdot 10^{-13}$
14/30	22/2,5	40/3,0	50/3,0		
34	34	30	40		
9,0	240	6000	160		
60/8	40/12	40/4	50/5		
				2,0	2,5
				0,3	0,3
				1,0	1,4
3,95...6,2	65,8...73,0	76,0...84,0	76,0...84,0	1550	750
200	5	350	15	$5 \cdot 10^{-11}$	$7 \cdot 10^{-11}$
12/34	40/2,7	50/3,0	45/2,5		
30	40	35	30		
10,0	220	5000	170		
26/12	60/10	45/3	45/4		
				2,5	2,6
				0,3	0,2
				1,0	1,1
3,95...6,2	65,8...73,0	58,0...66,0	58,0...66,0	2000	10 000
50	30	300	10	$5 \cdot 10^{-12}$	10^{-13}
26/60	30/3	45/2,5	40/3,0		
40	40	40	35		
6,0	150	4500	140		
60/8	32/12	35/3	45/4		
				0,8	0,5
				0,2	0,1
				1,4	1,3

Радиотехнический практикум

Предпоследняя цифра шифра	Параметры	Профессиональный приемник			Радиовещатель
		1	2	3	
9	A	2,5...12,0	3,43...9,6	100...250	0,15...0,408
	Б	4	5	6	50
	В	50/60	68/55	30/2,5	60/60
	Г	70	80	34	40
	Д	2	3	200	6,0
	Е	60/70	80/10	60/12	60/8
	Ж				
0	А	1,5...2,1	2,7...6,6	60...180	0,52...1,6
	Б	1	1,2	7	200
	В	50/60	68/55	30/2,5	60/60
	Г	60	80	45	26
	Д	2	3	200	2,0
	Е	60/10	80/10	60/12	60/12
	Ж				
	З				
	И				

Примечание. Условные обозначения: *A* — диапазон принимаемых частот P_a измеряется в Вт); *B* — ослабление, дБ (числитель — зеркального в знаменателе дано значение коэффициента прямоугольности $k_{\text{ш}} 0,01$); спектра принимаемого сигнала, кГц; *E* — эффективность АРУ, дБ (чи- сигнала); *Ж* — длительность импульса, мкс; *З* — время установления параметров для профессиональных приемников: КВ от 10 до 40 °С; УКВ онных от 10 до 40 °С; для радиолокационных от —50 до 50 °С. Выходная

последним цифрам шифра студента: последняя цифра определяет номер столбца, а предпоследняя — номер строки.

2. ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Эскизное проектирование должно включать в себя решение следующих вопросов:

выбор типа структурной схемы приемника;

определение числа поддиапазонов (в дальнейшем расчет ведется только для одного поддиапазона);

Продолжение табл. 1

ный приемник	Телевизионный приемник		Радиолокационный приемник		
	канал изобра- жения	канал звука			
5	6	7	8	9	
0,52...1,6	65,8...73,0	48,5...56,5	48,5...56,5	1500	700
80	50	300	10	10^{-12}	10^{-11}
45/50	26/2	40/2,5	50/2,5		
50	40	30	40		
7,0	150	4500	150		
50/10	32/12	40/3	50/4		
				1,3	1,0
				0,3	0,1
				1,1	1,2
9,5...12,1	65,8...73,0	206,0...214,0	206,0...214,0	1800	800
150	5	400	40	$2 \cdot 10^{-13}$	$6 \cdot 10^{-11}$
45/55	25/2	40/2,5	50/2,5		
40	45	35	35		
7,0	220	4500	150		
50/10	35/12	40/3	50/4		
				1,3	1,0
				0,3	0,1
				1,1	1,2

стот, МГц; B — чувствительность, мкВ (для радиолокационных приемников канала, знаменатель — соседнего; для УКВ и телевизионных приемников G — ослабление помех на промежуточной частоте, дБ; D — ширина селиттера означает изменение входного сигнала, знаменатель — выходного импульса, мкс; I — коэффициент различимости. Диапазон рабочих температур —40 до 50 °C; для радиовещательных от —20 до 40 °C; для телевизионных приемников мощность приемника 1 Вт).

- расчет сквозной полосы пропускания приемника;
- выбор структуры первых каскадов преселектора и числа преобразования частоты;
- выбор первых каскадов приемника;
- определение избирательной системы тракта промежуточной частоты;
- выбор электронных приборов для высокочастотного тракта;
- распределение усиления между трактами радиоприемника;
- выбор тракта усиления низкой частоты;

выбор регулировок приемника.

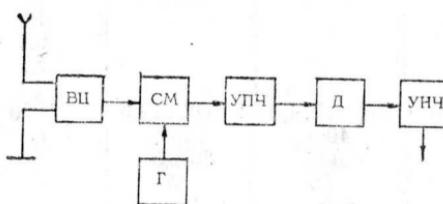
Методические указания по основным вопросам эскизного проектирования приводятся ниже.

2.1. Выбор типа структурной схемы приемника

Современные радиоприемники, как правило, строятся по супергетеродинной схеме.

Наибольшее распространение получили супергетеродинные схемы с однократным преобразованием частоты (рис. 1, а, б), где ВЦ — входная цепь, УРЧ — усилитель ра-

а)



б)

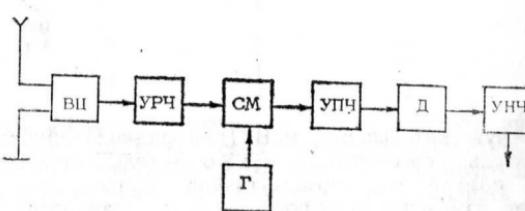


Рис. 1

диочастоты, См — смеситель, Г — гетеродин, УПЧ — усилитель промежуточной частоты, Д — детектор, УНЧ — усилитель низкой частоты.

Профессиональные приемники часто могут выполняться по супергетеродинной схеме с двухкратным (либо большой кратности) преобразованием частоты (рис. 2). Благодаря применению высокой первой промежуточной частоты такое решение позволит существенно увеличить подавление помех по зеркальному каналу ($\sigma_{зк} > 50$ дБ) и при применении низкой второй промежуточной частоты обеспечит хорошую из-