

✓  
ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический  
университет»

Кафедра систем информационной безопасности

**16-2013**

**ВХОДНЫЕ ЦЕПИ, УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ  
И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам № 1, 2  
по дисциплинам

«УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ»  
и «УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
СИГНАЛОВ»

для студентов специальности 210302.65 «Радиотехника»  
и направления 210400.62 «Радиотехника» (профиль  
«Радиотехнические средства передачи, приема и обработки  
сигналов») очной и заочной форм обучения



Воронеж 2013

Составитель канд. техн. наук Э.Д. Поликарпов

УДК 621.396.62

Входные цепи, усилители высокой и промежуточной частот: методические указания к лабораторным работам № 1, 2 по дисциплинам «Устройства приема и обработки сигналов» и «Устройства приема и преобразования сигналов» для студентов специальности 210302.65 «Радиотехника» и направления 210400.62 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов») очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Э.Д. Поликарпов. Воронеж, 2013. 35 с.

Методические указания содержат домашние, лабораторные задания и указания по их выполнению. В результате выполнения этих работ студенты получают практические навыки расчета и экспериментального исследования основных качественных показателей входных цепей, усилителей высокой и промежуточной частот.

Предназначены для студентов 3, 4 и 5 курсов.

Табл. 6. Ил. 6. Библиогр.: 7 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Б.В. Матвеев

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.Г. Остапенко

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013

## УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Проверить наличие и надежность присоединения корпусов лабораторной установки и измерительных приборов к клемме нулевого провода.

2. Подачу электропитания на лабораторную установку и измерительные приборы производить только после проверки преподавателем правильности собранной схемы и с его разрешения.

3. В случае неисправности лабораторной установки или измерительных приборов обратиться к преподавателю. Устранять неисправности или производить какие-либо переключения, не предусмотренные работой, студенту запрещается.

4. При выполнении работы необходимо соблюдать меры предосторожности в соответствии с инструкцией по правилам техники безопасности в лаборатории радиоприемных устройств.

### Лабораторная работа № I ВХОДНЫЕ ЦЕПИ РАДИОПРИЕМНИКОВ

#### 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ

1.1. Цель работы: изучить основные *схемы входных цепей* радиоприемников и *методику их анализа*; приобрести практические навыки по *расчету* и *экспериментальному исследованию* основных качественных показателей входных цепей.

1.2. При выполнении лабораторной работы *изучаются* *схемы* входных цепей радиоприемников умеренно высоких частот (ДВ, СВ и КВ диапазонов) и *исследуются их характеристики*. Исследование заключается в определении основных показателей входных цепей и их зависимости от частоты настройки.

1.3. При выполнении работы используются следующие приборы и оборудование:

- лабораторная установка;
- генератор стандартных сигналов, высокочастотный;
- милливольтметр переменного тока, высокочастотный;
- электронный частотомер.

## 2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Ознакомьтесь с назначением, составом и основными качественными показателями входных цепей (ВЦ) и требованиями к ним.

Методические указания. Одной из основных функций радиоприемника является избирательность, т.е. способность выделять полезный сигнал и ослаблять мешающие сигналы (помехи). Для получения частотной избирательности в состав радиоприемников включают резонансные системы - контуры, фильтры (на СВЧ - резонаторы, линии), настроенные на частоту сигнала  $f_c$ . Помехи с другими частотами ослабляются тем лучше, чем больше их расстройка -  $\Delta f = |f_n - f_0|$ , где  $f_0$  - частота настройки,  $f_n$  - частота помехи.

Для помех малого уровня избирательность радиоприемника полностью зависит от числа используемых резонансных систем и от их характеристик. Однако при воздействии помех большого уровня происходит ухудшение избирательности из-за явлений *перекрестной модуляции* и *интермодуляции*, возникающих в *нелинейных элементах* радиоприемника (транзисторах, лампах, варикапах) и приводящих к переносу спектра помехи на частоту сигнала. Следовательно, для достижения высокой эффективной (двухсигнальной и многосигнальной) избирательности важно, чтобы сильные помехи существенно *ослаблялись до входа первого каскада* (первого нелинейного элемента). В этом и заключается основная роль входной цепи. (Использование варикапов для перестройки ВЦ также приводит к уменьшению эффективной избирательности приемника из-за нелинейности вольт-фарадной характеристики варикапов).

Входная цепь представляет собой *линейную частотно-избирательную систему*, которая включается между антенной (антенным фидером) и входом первого каскада радиоприемника. Входная цепь должна обеспечивать *передачу энергии* полезного сигнала от антенны (или фидера) ко входу первого каскада с наименьшими потерями и искажениями и *частотную избирательность* до его входа. В общем случае ВЦ - линейный пассивный четырехполюсник, состоящий из избирательной системы и элементов связи. *Избирательная система* состоит обычно из одного-двух колебательных контуров (на СВЧ - резонаторов), настраиваемых на частоту сигнала. *Элементы связи* обеспечивают связь антенны с первым контуром, связь между контурами ВЦ (если их несколько) и связь избирательной системы с первым каскадом радиоприемника.

К основным качественным показателям ВЦ относятся: резонансный коэффициент передачи, полоса пропускания, избирательность по соседнему и побочным каналам приема, коэффициент шума, частотная характеристика.

Коэффициент передачи ВЦ есть отношение напряжения  $U_{2P}$  на выходе (на нагрузке) при резонансе к ЭДС  $E_A$ , наводимой в антенне принимаемым сигналом:

$$K_0 = U_{2P} / E_A . \quad (1.1)$$

При перестройке ВЦ по диапазону ее коэффициент передачи, как правило, изменяется, что приводит к изменению общего усиления радиоприемника и его чувствительности. Зависимость  $K_0(f_0)$  резонансного коэффициента передачи от частоты настройки  $f_0$  называется *частотной характеристикой ВЦ*. На рис.1.1 а показана частотная характеристика с нарастанием. Для получения максимально возможной чувствительности радиоприемника необходимо увеличивать  $K_0$ .

Полоса пропускания ВЦ должна соответствовать ширине спектра принимаемого сигнала и по возможности мало изменяться при перестройке ВЦ. Полосой пропускания на уровне  $\gamma < 1$  называется область частот  $\Pi_\gamma$ , в пределах которой неравномерность коэффициента передачи не превышает  $\gamma$  (рис.1.1 б).

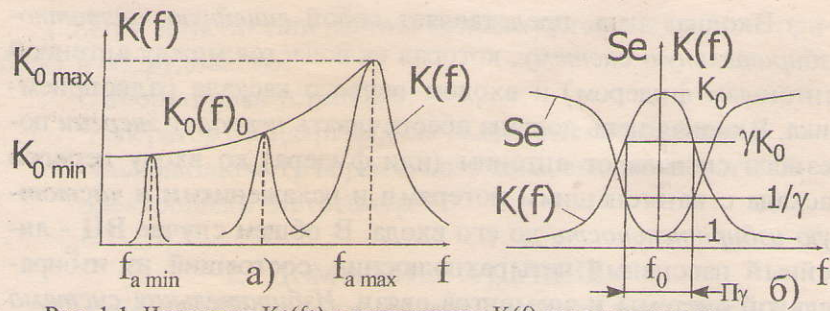


Рис. 1.1. Частотная  $K_0(f_0)$  и резонансная  $K(f)$  характеристики

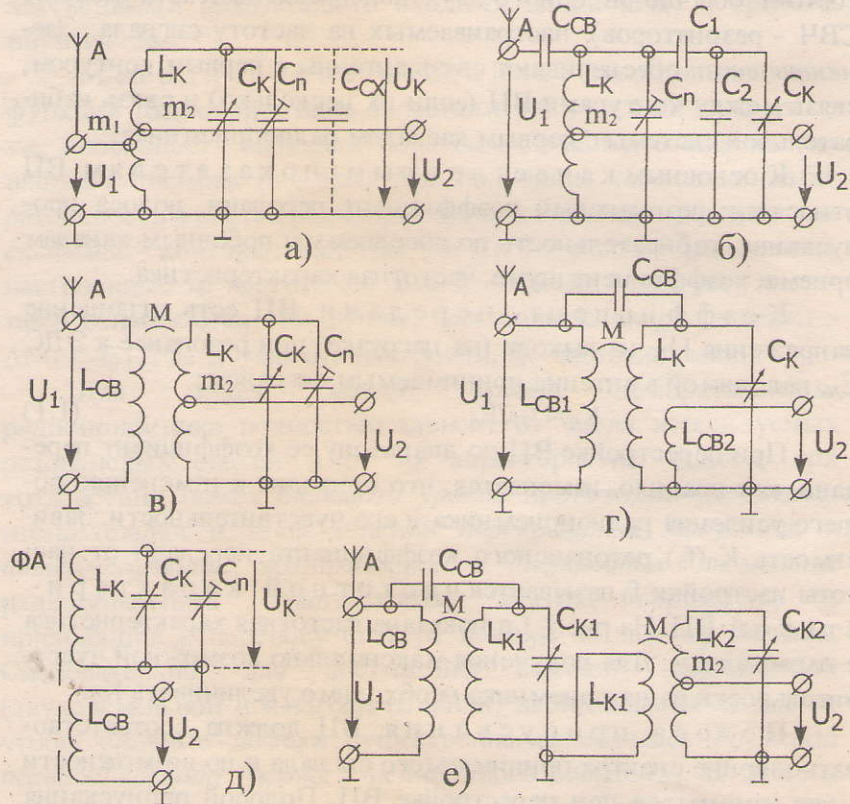


Рис. 1.2. Схемы входных цепей радиоприемников

Избирательность ВЦ определяется как степень ослабления мешающих сигналов (помех), поступающих на ее вход. Частотная избирательность ВЦ обусловлена ее резонансными свойствами. Численно избирательность показывает, во сколько раз резонансный коэффициент передачи больше коэффициента передачи ВЦ на частоте помехи  $f_{\Pi}$ :

$$Se(f_{\Pi}) = K_0 / K(f_{\Pi}). \quad (1.2)$$

Зависимость избирательности ВЦ от расстройки помехи обычно имеет вид рис. 1.1 б.

Избирательные свойства ВЦ обычно оцениваются избирательностью по *соседнему каналу*, по *зеркальному каналу* и по каналу прямого прохождения (по *прямому каналу*). К избирательности входных цепей радиоприемников предъявляются высокие требования из-за большого числа мешающих сигналов.

2.2. Изучить основные схемы ВЦ, их достоинства и недостатки.

Методические указания. В большинстве современных приемников применяются одноконтурные ВЦ - с автотрансформаторной, емкостной, индуктивной (трансформаторной) и комбинированной связью контура ВЦ с антенной (рис. 1.2 а, б, в, г соответственно). На рис. 1.2 также показаны различные виды связи контура с нагрузкой (входом транзистора).

ВЦ с автотрансформаторной связью с антенной (рис. 1.2 а) обычно используются для связи с несимметричными настроенными антеннами. Достоинство схемы - ее простота, недостаток - трудно обеспечить малую степень связи. На схеме обозначено:

$m_1 = U_1 / U_k$  - коэффициент включения антенны;

$m_2 = U_2 / U_k$  - коэффициент включения нагрузки.

Коэффициенты включения (трансформации) в некоторых случаях зависят от частоты, поэтому на частоте  $f \neq f_0$  они будут обозначаться  $m_1(f)$  и  $m_2(f)$ .

ВЦ с емкостной (внешне емкостной) связью с антенной (рис. 1.2 б) обычно используются для связи с

несимметричными, ненастроенными антеннами. Достоинства - простота схемы, при необходимости легко менять степень связи с антенной. Недостаток - при перестройке ВЦ по диапазону сильно изменяется коэффициент передачи (пропорционально квадрату частоты настройки).

Конденсатор  $C_p$  - подстроечный, конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  включаются последовательно и параллельно емкости  $C_k$  для уменьшения коэффициента перекрытия диапазона

$$K_d = \frac{f_{0 \max}}{f_{0 \min}} = \sqrt{\frac{C_{\Sigma \max}}{C_{\Sigma \min}}}, \quad (1.3)$$

где  $C_{\Sigma}$  - полная емкость контура (аналогично выполняется подстройка и уменьшение коэффициента диапазона и для других ВЦ, изображенных на рис.1.2).

ВЦ с трансформаторной связью с антенной (рис.1.2 в) используются для связи с несимметричными и симметричными, с ненастроенными и настроенными антеннами. Достоинства: степень связи может изменяться в широких пределах, частотная характеристика может быть как возрастающей, так и убывающей. Схема и конструкция ВЦ с трансформаторной связью несколько сложнее других.

ВЦ с комбинированной связью контура с антенной (рис.1.2 г) имеет наиболее высокий коэффициент передачи и хорошее его постоянство по диапазону. Недостатки - схемная и конструктивная сложность. Большой коэффициент передачи за пределами рабочего диапазона ухудшает избирательность ВЦ по зеркальному каналу радиоприема.

ВЦ с магнитной (ферритовой) антенной (рис.1.2 д) содержит катушку индуктивности  $L_k$ , намотанную на ферритовом сердечнике круглого или прямоугольного сечения, имеющем высокую магнитную проницаемость и достаточно большие размеры. Магнитная антенна реагирует на магнитную составляющую поля электромагнитной волны, в результате ослабляется мешающее действие промышленных помех в ближней зоне. Пространственная избирательность магнитной антенны позволяет устранить влияние мешающих радиостан-



ций, если направление на них не совпадает с направлением прихода полезного сигнала.

При высоких требованиях к избирательности радиоприемника иногда применяют двухконтурную ВЦ (рис.1.2 е).

Перестройка ВЦ по диапазону рабочих частот производится конденсатором переменной емкости  $C_K$  (рис.1.2), реже - катушкой индуктивности  $L_K$ .

2.3. Изучить методику анализа ВЦ с ненастроенной антенной.

Методические указания. Ненастроенные антенны обычно используются в перестраиваемых радиоприемных устройствах, работающих в диапазоне умеренно высоких частот (ДВ, СВ, КВ). Выходная проводимость ненастроенной антенны имеет комплексный характер, поэтому из антенной цепи в контур ВЦ вносится как активная, так и реактивная составляющие.

Активная составляющая увеличивает затухание контура, расширяя его полосу пропускания и ухудшая избирательность. Реактивная составляющая изменяет настройку контура, что вызывает искажения принимаемого сигнала (из-за разной передачи верхней и нижней боковых полос сигнала при расстройке), а при больших расстройках ВЦ - уменьшение усиления и потерю чувствительности радиоприемника.

Анализ и проектирование диапазонных ВЦ осложняется тем, что значения вносимых из антенны проводимостей невозможно рассчитать или предсказать заранее, поскольку на практике используются антенны разных типов и размеров, кроме того, активная и реактивная проводимости ненастроенной антенны различны на разных частотах диапазона. Перебором всех возможных вариантов антенн можно установить среднее значение и пределы изменения проводимости антенны в заданном диапазоне частот. Это позволяет оценить пределы изменения вносимой в контур ВЦ реактивности и вызываемой ею расстройки и затем так выбрать связь контура с антен-

ной, чтобы при подключении *любой* антенны получающаяся расстройка не превышала некоторого *допустимого значения* (при этом смена антенны не вызывает необходимости какой-либо подстройки ВЦ приемника). При уменьшении связи с антенной уменьшается вносимая реактивность, а значит и расстройка контура, но одновременно уменьшается и коэффициент передачи ВЦ.

При анализе диапазонной ВЦ необходимо установить характер и пределы изменения основных показателей (см. п.2.1) при ее перестройке в диапазоне рабочих частот. В лабораторной работе исследуются наиболее распространенные схемы диапазонных ВЦ - с емкостной, индуктивной и индуктивно-емкостной связью с антенной.

Схема ВЦ с внешнеемкостной связью с антенной приведена на рис.1.2 б. Конденсатор связи  $C_{CB}$  входит в состав антенной цепи, его емкость обычно выбирается значительно меньше емкости антенны  $C_{АНТ}$  - для уменьшения влияния антенны на настройку контура. Полная емкость антенной цепи

$$C_A = \frac{C_{АНТ} C_{CB}}{C_{АНТ} + C_{CB}} < C_{АНТ},$$

поэтому сопротивление  $1/\omega C_A$  будет гораздо больше  $\omega L_{АНТ}$  и  $r_{АНТ}$  и влиянием последних на работу ВЦ можно пренебречь. Сопротивление антенной цепи при этом приближенно равно

$$z_A \approx 1/\omega C_A; \quad z_{A0} \approx 1/\omega_0 C_A \quad (1.4)$$

и уменьшается с частотой, а резонансное сопротивление контура

$$z_{ЭР} = \rho Q_{Э} = \omega_0 L_K Q_{Э} \quad (1.5)$$

увеличивается с частотой, что в совокупности приводит к увеличению резонансного коэффициента передачи ВЦ на верхних частотах диапазона.

$$K_0 = m_2 \omega_0^2 L_K C_A Q_{Э}, \quad (1.6)$$

то есть резонансный коэффициент передачи ВЦ при ее перестройке конденсатором возрастает пропорционально *квадрату*

частоты настройки. Соответственно изменяется чувствительность приемника при перестройке, что нежелательно.

Общее выражение для расчета избирательности

$$Se(f) \approx \frac{f_0}{f} \sqrt{1 + \xi_3^2}. \quad (1.7)$$

$\xi_3$ -обобщенная расстройка.

В области малых расстроек (при  $\frac{\Delta f}{f_0} \leq 0.1$ ),  $\xi_3 = \frac{2\Delta f}{d_3 f_0}$

$$Se(f) \approx \sqrt{1 + \xi_3^2}. \quad (1.8)$$

При больших расстройках ( $|\xi_3| \gg 1$ ) это выражение можно преобразовать к виду:

$$Se(f) \approx \frac{f_0}{f} |\xi_3| = \frac{f_0}{f} \frac{1}{d_3} \left| \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right| = Q_3 \left| 1 - \frac{f_0^2}{f^2} \right|. \quad (1.9)$$

На частотах  $f > f_0$ ,  $Se < |\xi_3|$ , то есть избирательность одноконтурной ВЦ хуже, чем избирательность одиночного контура (из-за влияния элемента связи  $C_{CB}$ ).

Полоса пропускания ВЦ определяется выражением (1.10).

$$\Pi_\gamma = 2\Delta f_\gamma = d_3 f_0 \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} - 1}. \quad \Pi_{0.7} = d_3 f_0 \quad (1.10)$$

Схема ВЦ с индуктивной связью с антенной приведена на рис.1.2в. В этом случае антенная цепь представляет собой резонансный контур с фиксированной настройкой, состоящий из емкости  $C_A = C_{АНТ}$ , индуктивности  $L_A = L_{АНТ} + L_{CB}$  и сопротивления  $r_A = r_{АНТ} + r_{CB}$ . Индуктивность  $L_{CB}$  обычно выбирается так, чтобы резонанс в антенной цепи находился за пределами поддиапазона. Тогда внутри поддиапазона  $r_A \ll |X_A|$  и сопротивление антенной цепи прак-

тически равно ее реактивному сопротивлению. На частоте настройки контура ВЦ

$$z_A = z_{A0} = \sqrt{r_A^2 + x_{A0}^2} \approx |x_{A0}| = \left| \omega_0 L_A - \frac{1}{\omega_0 C_{\text{АНТ}}} \right| = \omega_0 L_A \left| 1 - \frac{\omega_A^2}{\omega_0^2} \right|, \quad (1.11)$$

где  $\omega_A = 1/\sqrt{L_A C_A}$  - резонансная частота антенной цепи.

Выражение для резонансного коэффициента передачи ВЦ:

$$K_0 = \frac{k_{\text{СВ}} m_2 Q_3}{|1 - f_A^2/f_0^2|} \sqrt{\frac{L_K}{L_A}}, \quad (1.12)$$

где  $k_{\text{СВ}} = M/\sqrt{L_{\text{СВ}} L_K} \approx M/\sqrt{L_A L_K}$  - коэффициент связи.

Вид частотной характеристики коэффициента передачи ВЦ, как следует из (1.12), зависит от соотношения частот  $f_A$  и  $f_0$ . Изменяя  $L_{\text{СВ}}$ , можно расположить  $f_A$  выше или ниже поддиапазона рабочих частот, либо внутри поддиапазона.

В первом случае, когда частота резонанса в антенной цепи находится выше верхней частоты поддиапазона ( $f_A > f_{0\text{МАХ}}$ , то есть  $\lambda_A < \lambda_{0\text{МИН}}$  - режим укорочения антенны), резонансный коэффициент передачи резко возрастает с увеличением частоты настройки ВЦ.

Для случая ( $f_A^2 \gg f_{0\text{МАХ}}^2$ ) получаем:

$$K_0 \approx k_{\text{СВ}} m_2 Q_3 \cdot \frac{f_0^2}{f_A^2} \cdot \sqrt{\frac{L_K}{L_A}}, \quad (1.13)$$

то есть при постоянных  $m_2$  и  $Q_3$  резонансный коэффициент передачи возрастает пропорционально квадрату частоты настройки.

Во втором случае, когда частота резонанса в антенной цепи находится ниже нижней частоты поддиапазона ( $f_A < f_{0\text{МИН}}$ ,  $\lambda_A > \lambda_{0\text{МАХ}}$  режим удлинения антенны), резонансный коэффициент передачи уменьшается с ростом частоты настройки, но изменяется менее резко, чем в предыдущем случае, так как уменьшение тока в антенной цепи с ростом частоты компенсируется увеличением сопротивления связи.

При  $f_A^2 \ll f_{0\text{MIN}}^2$  получаем:

$$K_0 \approx k_{\text{СВ}} m_2 Q_3 \sqrt{L_K/L_A}, \quad (1.14)$$

то есть при постоянных  $m_2$  и  $Q_3$  резонансный коэффициент передачи практически постоянен в пределах поддиапазона.

В третьем случае, когда частота резонанса антенной цепи находится внутри поддиапазона ( $f_{0\text{MIN}} < f_A < f_{0\text{MAX}}$ ), резонансный коэффициент передачи сильно изменяется при перестройке ВЦ, достигая максимального значения внутри поддиапазона (при  $f_0 \approx f_A$ ), поэтому такой режим в радиоприемниках не используется.

Избирательность ВЦ для первого и второго случаев определяется для большинства расстроек следующим выражением:

$$Se(f) = Q_3 \frac{\left| 1 - \frac{f_A^2}{f^2} \right| \left| \frac{f^2}{f_0^2} - 1 \right|}{\left| 1 - \frac{f_A^2}{f_0^2} \right|}. \quad (1.15)$$

Полоса пропускания ВЦ определяется формулами (1.10).

Используемые при анализе предположения о постоянстве  $m_2$  и  $Q_3$  справедливы не всегда. Характер их изменения с частотой зависит как от нагрузки ВЦ (лампа, транзистор), так и от вида связи контура ВЦ с нагрузкой.

Для получения более высокого и равномерного в пределах поддиапазона коэффициента передачи используется индуктивно-емкостная связь контура ВЦ с антенной (рис.1.2 г). ЭДС, вносимая в контур за счет внешне-емкостной связи (конденсатора  $C_{\text{СВ}}$ ), растет, а ЭДС, вносимая в контур через взаимдуктивность  $M$ , уменьшается (в режиме удлинения антенны) с ростом частоты настройки. Включение катушек  $L_K$  и  $L_{\text{СВ}}$  выбирается так, чтобы вносимые ЭДС были синфазны, а значения  $C_{\text{СВ}}$ ,  $L_{\text{СВ}}$  и  $k_{\text{СВ}}$  выбираются так, чтобы суммарная вносимая ЭДС мало изменялась при перестройке ВЦ.

2.4. Рассчитать входную цепь в соответствии с вариантом домашнего задания.

Рассчитать входную цепь для одного вида связи контура с ненастроенной антенной в соответствии с вариантом задания. Определить на крайних частотах и на средней частоте соответствующего поддиапазона резонансный коэффициент передачи, полосу пропускания на уровне 0.707, избирательность по соседнему, зеркальному и прямому каналам.

Построить по этим данным графики зависимости соответствующих показателей от частоты настройки.

Исходные данные для расчета:  $C_{KMIN}=10\text{пФ}$ ,  $C_{KMAX}=430\text{пФ}$ ,  $C_{CX}=20\text{пФ}$ , границы поддиапазонов приведены в табл.1.1, остальные данные в табл.1.2, 1.3, 1.4.

Таблица 1.1

Границы поддиапазонов радиоприемника Рига-103

Поддиапазон	ДВ	СВ	КВ1	КВ2	КВ3
$f_{0MIN}$ , МГц	0.15	0.525	9.4	5.65	3.95
$f_{0MAX}$ , МГц	0.408	1.605	12.1	7.4	5.76

Таблица 1.2

Внешнеемкостная связь

Вид связи	Внешнеемкостная					
	1	2	3	4	5	6
Вариант	КВ1	КВ1	КВ2	КВ2	КВ3	КВ3
$C_{CB}$ , пФ	6.8	27	6.8	27	6.8	27
$L_K$ , мкГ	1.75	1.75	4.2	4.2	6.2	6.2
$m_2$	0.27	0.27	0.25	0.25	0.18	0.18
$k_{CB}$	—	—	—	—	—	—
$k_{удл}$	—	—	—	—	—	—
Схема, исходные данные	схема рис.1.2 б; $C_{АНТ}=200\text{пФ}$ ; $Q_{ЭСР}=25$					

Таблица 1.3

## Индуктивная связь

Вид связи	Индуктивная					
Вариант	7	8	9	10	11	12
Диапазон	СВ	СВ	СВ	СВ	СВ	СВ
$C_{CB}$ , пФ	—	—	—	—	—	—
$L_K$ , мкГ	—	—	—	—	—	—
$m_2$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
$k_{CB}$	0.4	0.35	0.45	0.3	0.35	0.3
$k_{удл}$	1.2	1.4	1.5	1.6	1.45	1.25
Схема, исходные данные	схема рис. 1.2 в; $C_{АНТ}=150$ пФ; $Q_{эср}=25$					

Таблица 1.4

## Индуктивно-емкостная связь

Вид связи	Индуктивно-емкостная					
Вариант	13	14	15	16	17	18
Диапазон	ДВ	ДВ	СВ	СВ	ДВ	СВ
$C_{CB}$ , пФ	12	12	6.8	6.8	12	6.8
$m_2$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
$k_{CB}$	0.4	0.4	0.4	0.22	0.3	0.3
$k_{удл}$	1.25	1.4	1.25	1.4	1.25	1.3
$R_{вх}$ , кОм	—	—	—	—	—	—
Схема, исходные данные	схема рис. 1.2 г; $C_{АНТ}=150$ пФ; $Q_{эср}=25$					

Методические указания. При выполнении расчетов домашнего задания используются формулы (1.6), (1.12) для определения резонансного коэффициента передачи; формулы (1.8), (1.9) и (1.15) для определения избирательности по соседнему, зеркальному и прямому каналам; формула (1.10) для определения полосы пропускания.

Частоты соседних каналов

$$f_{СК} = f_0 \pm \Delta f_{СК},$$

где  $\Delta f_{СК}$  - расстройка соседнего канала; в радиовещательных диапазонах ДВ, СВ, КВ  $\Delta f_{СК} = 9 \text{ кГц}$ , в диапазоне УКВ  $\Delta f_{СК} = 250 \text{ кГц}$ .

Частота зеркального канала при верхней настройке гетеродина

$$f_{ЗК} = f_0 + 2f_{ПР},$$

где  $f_{ПР} = 465 \text{ кГц}$  - промежуточная частота радиоприемников ДВ, СВ, КВ; в диапазоне УКВ  $f_{ПР} = 10.7 \text{ МГц}$  (в радиоприемнике Рига -  $103 f_{ПР} = 6.8 \text{ МГц}$ ).

Частота канала прямого прохождения (прямого канала) на ДВ, СВ, КВ:

$$f_{ПК} = f_{ПР} = 465 \text{ кГц}.$$

При расчете частотной характеристики ВЦ с емкостной связью с антенной можно видоизменить формулу (1.6) с учетом того, что  $\omega_0^2 L_K = 1/C_Э$ :

$$K_0 = m_2 Q_Э C_A / C_Э, \quad (1.16)$$

где  $C_Э = \frac{C_1(C_2 + C_K + C_{СХ})}{C_1 + C_2 + C_K + C_{СХ}} + C_{П} + C_A + C_{СХ}$  - полная эквивалентная емкость контура (рис.1.2 б);

$C_{П} = (5 \dots 25) \text{ пФ}$  - емкость подстроечного конденсатора (при расчете можно выбирать  $C_{П} = 15 \text{ пФ}$ );

$C_A = C_{АНТ} C_{СВ} / (C_{АНТ} + C_{СВ})$  - емкость, вносимая в контур антенной.

Максимальная и минимальная частоты настройки ВЦ (при любых способах связи)

$$f_{0\text{MIN}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_K C_{Э\text{MAX}}}}; \quad f_{0\text{MAX}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_K C_{Э\text{MIN}}}}.$$

Эквивалентная емкость контура на любой частоте настройки  $f_0$  может быть определена из выражения

$$C_Э = C_{Э\text{MAX}} (f_{0\text{MIN}} / f_0)^2.$$

Это соотношение может быть использовано при расчете  $K_0$  по формуле (1.16).



$$L_K = \frac{K_d^2 - 1}{4\pi^2 f_0^2 (C_{KMAX} - C_{KMIN})}; \quad L_{CB} = \frac{1}{4\pi^2 f_A^2 C_A},$$

где  $K_d = f_{0MAX}/f_{0MIN}$  - коэффициент диапазона;  
 $f_A = f_{0MIN} / k_{удл}$  - частота резонанса антенной цепи;  
 $k_{удл}$  - коэффициент "удлинения" антенны;  
 $C_{CX}$  - емкость схемы.

При расчете принять  $L_A \approx L_{CB}$ ,  $C_{CX} = 20$  пФ.

Резонансный коэффициент передачи ВЦ с индуктивно-емкостной связью примерно равен сумме коэффициентов передачи за счет емкостной и индуктивной связей и определяется выражением

$$K_0 = \frac{k_{CB} \sqrt{L_K/L_{CB} + C_{CB}/C_{\Sigma}}}{|1 - f_A^2/f_0^2|} \cdot m_2 Q_3.$$

Избирательность ВЦ с индуктивно-емкостной связью на частотах  $f < f_0$  определяется как для схемы с индуктивной связью, а на частотах  $f > f_0$  - как для схемы с емкостной связью.

### 3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Изучить схемы входных цепей СВ (ДВ) и КВ (КВ1, КВ2 или КВ3) диапазонов лабораторного макета (радиоприемника Рига - 103).

Продумать методику измерения основных показателей входных цепей.

Методические указания. При изучении схемы макета лабораторной установки, выполненной на базе промышленного приемника первого класса Рига - 103, необходимо выделить элементы, относящиеся к входной цепи каждого поддиапазона и установить, как осуществляется переключение диапазонов, как подключается к ВЦ каждого диапазона антенна, вход транзистора УРЧ и КПЕ.

Обратить особое внимание на схему двухконтурной ВЦ в диапазонах ДВ и СВ, разобраться в схеме подключения магнитной антенны (клавиша МА). Найги на схеме и установить

влияние клавиши МП ("местный прием"). В диапазонах КВ1, КВ2, КВ3 найти элементы, уменьшающие коэффициент перекрытия диапазона, и элементы подстройки.

3.2. Исследовать диапазонную ВЦ с емкостной связью с настроенной антенной.

3.2.1. Измерить *основные показатели* ВЦ: резонансный коэффициент передачи, полосу пропускания, избирательность по соседнему, зеркальному и прямому каналам на *трех частотах*: на крайних частотах и на средней частоте диапазона. Определить эквивалентную добротность контура ВЦ на этих частотах, результаты измерений и расчетов занести в *таблицу*.

*Построить графики* зависимости показателей ВЦ от частоты настройки, совместив их с расчетными, полученными при выполнении домашнего задания.

**Методические указания.** Найти на макете входные и выходные гнезда эквивалента антенны, гнезда для подключения наружной антенны и штыревой антенны ко входу ВЦ, гнездо выхода ВЦ, гнездо эквивалента нагрузки ВЦ и гнездо для подключения емкости связи в диапазоне ДВ.

При выполнении настоящего и последующих пунктов лабораторного задания необходимо *собрать схему* для исследования ВЦ. На вход ВЦ подать напряжение от генератора сигналов (с выхода «мкВ») через эквивалент антенны. Выход ВЦ нагрузить на эквивалент нагрузки, к выходу ВЦ подключить милливольтметр.

Включить питание генератора сигналов и милливольтметра, питание приемника *не включать*.

Установить переключатель диапазонов макета в положение КВ3. Установить емкостную связь контура ВЦ с антенной (на макете - с эквивалентом антенны), для чего выход эквивалента антенны подключить к гнезду А (емкость связи 6.8 пФ) или к гнезду ТА (емкость связи 27 пФ). Ручкой настройки приемника настроить ВЦ на минимальную частоту поддиапазона, затем настроить генератор сигналов на частоту резонанса ВЦ, контролируя наступление резонанса по показаниям милливольтметра.

Установить на выходе генератора такое напряжение  $U_{Г1}$ , при котором напряжение на выходе ВЦ равно  $U_{2P}=10$  мВ (напряжение на выходе генератора соответствует  $E_A$ ). Определить резонансный коэффициент передачи ВЦ:

$$K_0 = U_{2P}/U_{Г1}$$

При определении полосы пропускания ВЦ использовать электронный частотомер.

При измерении избирательности ВЦ по соседнему каналу сначала установить  $U_{2P}=10$  мВ при  $f_Г = f_0$ , затем перестроить генератор на частоту соседнего канала  $f_{СК} = f_0 \pm \Delta f_{СК} = f_0 \pm 9$  кГц и измерить напряжение  $U_{2СК}$  на выходе ВЦ. Избирательность по соседнему каналу

$$Se_{СК} = U_{2P}/U_{2СК}$$

Измерение избирательности по зеркальному и прямому каналам производится несколько иначе из-за сильного ослабления сигнала контуром ВЦ при больших расстройках. Сначала установить  $f_Г = f_0$ ,  $U_{2P}=10$  мВ и запомнить выходное напряжение генератора  $U_{Г1}$ . Затем перестроить генератор на частоту зеркального (прямого) канала и увеличивать напряжение на его выходе до такого значения  $U_{Г2}$ , при котором напряжение на выходе ВЦ снова станет равно 10 мВ. Избирательность определяется выражениями

$$Se_{ЗК} = U_{Г2ЗК}/U_{Г1}, \quad Se_{ПК} = U_{Г2ПК}/U_{Г1}$$

Повторить измерения на средней и максимальной частотах поддиапазона.

3.2.2. Исследовать влияние нагрузки на параметры ВЦ: измерить на одной из частот диапазона КВЗ вносимое затухание и расстройку контура при подключении эквивалента нагрузки.

Методические указания. Сначала необходимо измерить резонансную частоту и полосу пропускания, определить эквивалентное затухание контура ВЦ при подключенном эквиваленте нагрузки. Затем отключить эквивалент нагрузки и повторить измерения. Влияние нагрузки оценивается по изменению резонансной частоты и эквивалентного затухания контура ВЦ.

3.3. Исследовать диапазонную ВЦ с *индуктивной* связью с ненастроенной антенной.

Измерить *основные показатели* ВЦ, исследовать их *изменение* при перестройке ВЦ, результаты измерений занести в *таблицу* и построить графики аналогично п.3.2.1.

*Методические указания*. Переключатель диапазонов приемника установить в положение ДВ. Установить индуктивную связь первого контура ВЦ с антенной, для чего выход эквивалента антенны подключить к гнезду А и отсоединить переключку, подключающую конденсатор связи. Измерения проводить в соответствии с методикой п.3.2.

3.4. Исследовать диапазонную ВЦ с *индуктивно-емкостной* связью с ненастроенной антенной.

Измерить *основные показатели* ВЦ, исследовать их *изменение* при перестройке ВЦ, результаты измерений занести в таблицу и построить графики аналогично п.3.2.1.

*Методические указания*. Установить индуктивно-емкостную связь в диапазоне ДВ, для чего выход эквивалента антенны подключить к гнезду А и подсоединить переключку, подключающую конденсатор связи. Измерения производить в соответствии с методикой п.3.2.

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение ВЦ в супергетеродинном радиоприемнике.
2. Основные качественные показатели входной цепи.
3. Схемы одноконтурных ВЦ, их достоинства и недостатки.
4. Дайте определение резонансной и частотной характеристик ВЦ. Изобразите резонансную и частотную характеристики ВЦ на одном рисунке.
5. Как измерить резонансный коэффициент передачи ВЦ? Как снять частотную характеристику ВЦ?
6. Как измерить полосу пропускания ВЦ? Как зависит полоса пропускания от частоты настройки?
7. Как измерить избирательность ВЦ при малых и при больших расстройках? Как зависит избирательность от частоты на-

стройки ВЦ?

8. Как измерить шунтирующее действие транзистора на входную цепь?

9. Как изменяется резонансный коэффициент передачи ВЦ по диапазону при различных видах связи контура с ненастроенной антенной?

10. Из каких соображений выбирается вид связи контура ВЦ с ненастроенной антенной?

11. Из каких соображений выбирается величина связи контура ВЦ с ненастроенной антенной?

12. Как зависит резонансный коэффициент передачи и полоса пропускания ВЦ от величины связи контура с антенной?

13. От чего зависит избирательность ВЦ? Как изменяется избирательность по зеркальному и прямому каналам при перестройке ВЦ?

14. В каких случаях применяется двухконтурная ВЦ и какой вид имеет ее резонансная характеристика?

15. Изобразить обобщенную эквивалентную схему одноконтурной ВЦ. Объяснить правила составления обобщенной схемы.

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Расчеты, таблицы и графики в соответствии с п.2.6 домашнего задания, основные расчетные формулы.
3. Блок-схему измерений.
4. Таблицы экспериментальных данных и графики, совмещенные с графиками домашнего задания.
5. Краткие выводы по проделанной работе, содержащие анализ полученных результатов, сопоставление расчетных и экспериментальных данных с указанием возможных причин их расхождения.

/Л. 1-7/.

Лабораторная работа № 2  
УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТ  
РАДИОПРИЕМНИКОВ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО РАБОТЕ

1.1. Цель работы: *изучить основные схемы усилителей радио- и промежуточной частоты радиоприемников и методику их анализа;*

*приобрести практические навыки по расчету и экспериментальному исследованию основных качественных показателей усилителей высокой частоты.*

1.2. В работе изучаются схемы усилителей высокой частоты (аперiodических и избирательных), применяющихся в качестве УРЧ (усилителей радиочастоты) и УПЧ (усилителей промежуточной частоты) радиоприемников, и исследуются их характеристики. Исследование заключается в *определении основных качественных показателей УРЧ и УПЧ и зависимости показателей УРЧ от частоты настройки.*

1.3. При выполнении работы используются следующие приборы и оборудование:

- лабораторная установка;
- генератор стандартных сигналов;
- милливольтметр переменного тока.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Ознакомиться с назначением, составом и основными качественными показателями усилителей высокой частоты (УВЧ) в радиоприемниках - усилителей радиочастоты (УРЧ) и усилителей промежуточной частоты (УПЧ) и требованиями к ним.

Методические указания. При ознакомлении необходимо уяснить различие в назначении УРЧ и УПЧ, определяемое тем и функциями, которое они выполняют в радиоприемнике.

Основные функции УРЧ - *снижение коэффициента шума* приемника (и тем самым повышение его *чувствительности*), повышение *избирательности* по зеркальному, прямому и другим *побочным* каналам приема, *усиление* сигнала.

Основным источником *внутренних шумов* в радиоприемниках является преобразователь частоты. Повышение реальной чувствительности приемника за счет усиления сигнала до преобразователя частоты достигается в том случае, если сам УРЧ имеет *малый коэффициент шума* (в основном его усиленный элемент) и достаточно *большое усиление*. Но при этом необходимо учитывать, что из-за низкой избирательности одновременно с усилением сигнала в УРЧ усиливаются и помехи соседних каналов. При большом уровне помех на входе следующего каскада (преобразователя частоты) возможно появление *перекрестной модуляции* и *интермодуляции*, приводящее к снижению эффективной (двухсигнальной) избирательности. Поэтому усиление УРЧ обычно ограничивается значениями  $K_0 \leq 5 \dots 10$ . Коэффициент усиления УРЧ (либо преселектора в целом) не должен, по возможности, изменяться при перестройке приемника в пределах поддиапазона и при переходе с одного поддиапазона на другой.

Основные показатели УРЧ:

- резонансный *коэффициент усиления*, характеризует усиление полезного сигнала, на частоту которого настроен УРЧ;
- *избирательность по зеркальному каналу*, характеризует ослабление помех с частотой зеркального канала с частотой зеркального канала в УРЧ;
- *избирательность по прямому каналу*, характеризует ослабление помех с промежуточной частотой в УРЧ;
- *коэффициент шума*, характеризует уменьшение отношения сигнал/шум при прохождении через УРЧ. Коэффициент шума УРЧ в значительной мере определяет шумовые свойства приемника: чем он меньше (ближе к единице), тем выше чувствительность приемника;
- *диапазон рабочих частот*, то есть область частот, в пре-

делах которой перестраивается УРЧ и сохраняет при этом качественные показатели на заданном уровне.

**Основные функции УПЧ:** усиление сигнала, обеспечение полосы пропускания, обеспечение избирательности по соседнему каналу.

УПЧ имеет фиксированную настройку и благодаря этому может быть обеспечено выполнение двух основных требований: высокое усиление (за счет возможности использования большого числа каскадов) и высокая избирательность (за счет возможности использования сложных перестраиваемых резонансных систем - полосовых фильтров). Избирательные свойства УПЧ должны быть таковы, чтобы обеспечить равномерное усиление в некоторой полосе частот, определяемой шириной спектра принимаемого сигнала. Поэтому такие усилители называют *полосовым*.

Для оценки характеристик УПЧ используют следующие *основные показатели*:

- коэффициент усиления, характеризует усиление сигнала на промежуточной частоте;
- *полоса пропускания*  $P_{\gamma}$ , определяемая как область частот, в пределах которой неравномерность усиления не превышает заданной величины  $\gamma$ ;
- *избирательность по соседнему каналу*, характеризует ослабление в УПЧ помех с частотой соседнего канала;
- *частота настройки* УПЧ, определяемая как средняя частота полосы пропускания.

Кроме перечисленных выше, для характеристики УРЧ и УПЧ используют еще следующие показатели: *динамический диапазон, уровень линейных и нелинейных искажений, устойчивость* и др.

2.2. Изучить основные схемы УРЧ и УПЧ, принцип действия и назначение элементов схем.

**Методические указания.** Необходимо иметь в виду, что схемы УВЧ (УРЧ, УПЧ) - традиционные, содержат усилительный элемент (с цепями питания, смещения и стабилизации режима), нагрузку и элементы связи между каска-



дами. Принцип действия усилителя, назначение элементов схем и их выбор, временные диаграммы напряжений и токов известны из курса аналоговых устройств. (Напомним, что выбор значений емкостей разделительных и блокировочных конденсаторов должен производиться с учетом рабочего диапазона частот).

В качестве *усилительного элемента (УЭ)* в УВЧ используют лампы, транзисторы полевые и биполярные, дифференциальные и каскодные схемы, многотранзисторные усилительные элементы интегральных схем (в каскадах УПЧ). В качестве *нагрузки* в УРЧ и в слабоизбирательных каскадах УПЧ используют одиночные резонансные контуры (рис.2.1). В УПЧ обычно используют более сложные избирательные системы - двухконтурные (рис.2.2) и трехконтурные полосовые фильтры, фильтры сосредоточенной избирательности (ФСИ). В транзисторных УПЧ наряду с ФСИ обычного типа (из LC-звеньев) используют также специальные-пьезокерамические или пьезомеханические, при этом уменьшаются размеры печатных плат и облегчается настройка тракта ПЧ. В качестве нагрузки неизбирательных УВЧ обычно используются резисторы (рис.2.3). В этом случае паразитные емкости схемы (выходная емкость транзистора, емкость монтажа, емкость нагрузки) подключены параллельно резистору нагрузки и уменьшают усиление каскада в области высоких частот.

Для повышения избирательности УРЧ по прямому каналу обычно используют *режекторный фильтр*, состоящий из последовательного контура, включенного параллельно нагрузке УРЧ и настроенного на промежуточную частоту (контур  $L_1C_1$  на рис.2.3).

2.3. Изучить методику анализа обобщенной эквивалентной схемы УВЧ и определения основных качественных показателей.

На рисунке 2.4 приведена обобщенная эквивалентная схема одноконтурного резонансного усилителя (см.рис.2.1), справедливая для любого УЭ и любой схемы его

включения — при подстановке соответствующих  $Y$ -параметров.

Резонансный коэффициент усиления находим, полагая  $\xi_{\text{Э}} = 0$ :

$$K_0 = \frac{m_1 m_2 |Y_{21}|}{g_{\text{Э}}} = \frac{m_1 m_2 |Y_{21}|}{m_1^2 g_1 + g_{\text{К}} + m_2^2 g_2} \quad (2.1)$$

Полоса пропускания (и избирательность) одноконтурного усилителя, как и входной цепи, зависит от эквивалентного затухания шунтированного контура

$$\Pi_{0,7} = d_{\text{Э}} f_0, \quad (2.2)$$

где  $d_{\text{Э}} = g_{\text{Э}} \rho$ ,  $\rho$  - волновое сопротивление контура..

Избирательность одноконтурного усилителя по соседнему каналу (при малых расстройках помехи) определяется только резонансными свойствами контура

$$Se_{\text{СК}} = \sqrt{1 + \left( \frac{2\Delta f_{\text{СК}}}{d_{\text{Э}} f_0} \right)^2} \quad (2.3)$$

где  $\Delta f_{\text{СК}} = f_{\text{СК}} - f_0$  - расстройка соседнего канала.

Избирательность усилителя при больших расстройках помех (например, по зеркальному каналу, по прямому каналу) зависит как от избирательных свойств нагрузки усилителя (контура), так и от значений коэффициентов включения УЭ и нагрузки на частоте помехи:

$$Se_{\text{ЗК}} = \sqrt{1 + \xi_{\text{ЭЗК}}^2} \quad (2.4)$$

где  $\xi_{\text{ЭЗК}} = \frac{1}{d_{\text{Э}}} \left( \frac{f_{\text{ЗК}}}{f_0} - \frac{f_0}{f_{\text{ЗК}}} \right)$  - обобщенная расстройка зеркального канала (для прямого канала вместо  $f_{\text{ЗК}}$  подставить  $f_{\text{ПР}}$ ).

С ростом частоты настройки избирательность усилителя по соседнему и зеркальному каналам уменьшается. Избирательность радиовещательного приемника по прямому каналу в диапазоне ДВ уменьшается с ростом частоты настройки, в остальных диапазонах увеличивается.

2.4. Ознакомиться с методикой исследования устойчивости УВЧ.

Методические указания. Понятие устойчивости резонансного (полосового) усилителя включает не только требование *отсутствия самовозбуждения*, но и устанавливает определенную степень *удаленности усилителя от режима самовозбуждения*. Последнее вызвано тем, что с приближением к режиму самовозбуждения недопустимо *искажается форма АЧХ* усилителя, *ухудшается стабильность формы АЧХ и коэффициента усиления*.

Обратная связь в усилителях возникает как за счет *общих цепей питания каскадов, электрической и магнитной связи входа и выхода усилителя (внешняя ОС)*, так и за счет проводимостей обратной передачи усилительных элементов (*внутренняя ОС*).

Влияние ОС приводит к изменению входной и выходной проводимостей усилителя (входная проводимость под действием ОС уменьшается на частотах ниже частоты резонанса нагрузки и при достаточно большой ОС может стать отрицательной), что в свою очередь приводит к изменению его показателей: коэффициента усиления, полосы пропускания, формы АЧХ. Поскольку эти изменения взаимосвязаны, можно задавать ограничение на допустимое изменение одного из показателей, тогда и другие будут находиться в допустимых пределах. Обычно задается ограничение на максимально допустимый коэффициент усиления, который называется коэффициентом устойчивого усиления и определяется по формуле

$$K_{0уст} = \sqrt{\frac{2(1 - K_y) |Y_{21}|}{|Y_{12}|}}, \quad (2.5)$$

где  $0 \leq k_y \leq 1$  - коэффициент устойчивости, определяющий удаленность усилителя от самовозбуждения.

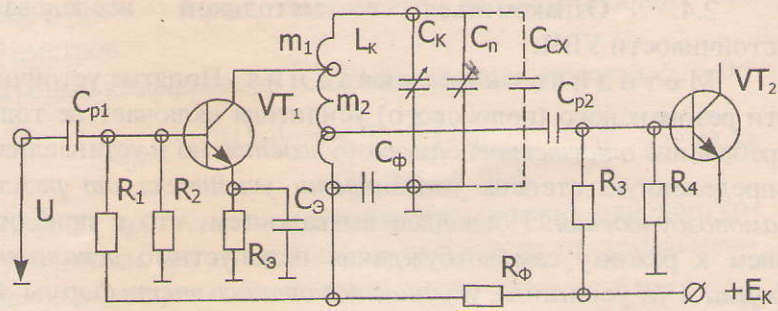


Рис. 2.1. Схема каскада одноконтурного резонансного УРЧ

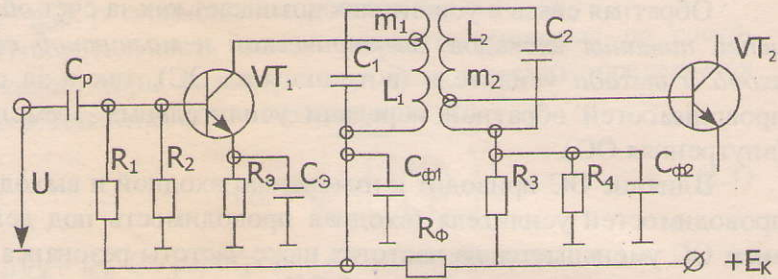


Рис.2.2. Схема каскада УРЧ с двухконтурным полосовым фильтром

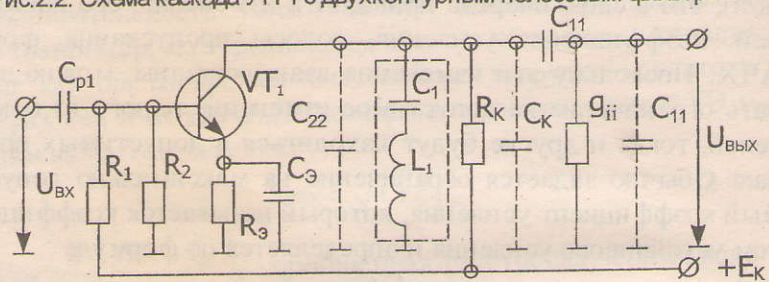


Рис.2.3. Схема каскада аperiodического УРЧ.

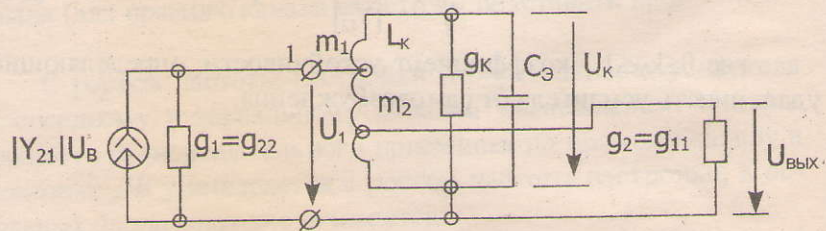


Рис.2.4. Эквивалентная схема резонансного УРЧ

При  $k_y=0$  усилитель самовозбуждается, при  $k_y=1$  усилитель абсолютно устойчив (но соответствующий коэффициент усиления равен нулю).

Коэффициент устойчивости определяет изменение коэффициента усиления усилителя за счет действия ОС:

$$k_y = \frac{K_0(\text{без ОС})}{K_0(\text{с ОС})},$$

где  $K_0(\text{без ОС})$  - коэффициент усиления при отсутствии ОС;

$K_0(\text{с ОС})$  - коэффициент усиления при наличии ОС.

Обычно считается допустимым изменение коэффициента усиления за счет ОС на 20 %, что соответствует значению  $k_y = K_0 / 1.2K_0 \approx 0.84$  в однокаскадном усилителе,  $k_y = 0.86$  - в двухкаскадном,  $k_y = 0.87$  - в многокаскадном. В других случаях коэффициент устойчивости выбирают в пределах 0,8...0,9.

2.5. Ознакомиться с нелинейными эффектами и линейными искажениями в УВЧ.

Методические указания. Необходимо вспомнить определения проходной характеристики УЭ, колебательной и амплитудной характеристик резонансного усилителя, причины появления линейных и нелинейных искажений в усилителях, их связь с формой проходной, амплитудной и амплитудно-частотной характеристик.

Линейные искажения в УВЧ возникают вследствие неравномерности АЧХ в пределах спектра усиливаемого сигнала.

Нелинейные искажения в резонансных усилителях возникают за счет нелинейности амплитудной (колебательной) характеристики усилителя, приводящей к искажению формы огибающей усиливаемых АМ сигналов. Нелинейные искажения в резонансных усилителях возникают при сравнительно больших уровнях сигналов, так как в области малых сигналов амплитудная характеристика, как правило, линейна.

2.6. Рассчитать усилитель высокой частоты в соответствии с вариантом домашнего задания.

Методические указания. Для выполнения домашнего задания необходимо проработать материал по одному из учебников, приведенных в списке литературы, а также настоящие методические указания, подготовить ответы на контрольные вопросы (п.4).

2.6.1. Рассчитать коэффициент усиления и избирательность по прямому каналу резистивного УРЧ (рис.2.3).

Исходные данные для расчета: транзистор ГТ322, емкость схемы  $C_{сх} = C_m + C_{22} + C_{11} = 20$  пФ,  $C_1 = 120$  пФ, остальные данные в табл.2.1.

Таблица 2.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Диапазон	СВ	ДВ	СВ	ДВ	СВ	ДВ	СВ	ДВ
$R_k$ , кОм	0.33	0.33	3.3	3.3	0.33	0.33	3.3	3.3
$Q_{реж}$	50	50	70	70	70	70	50	50

Методические указания. Необходимо правильно определить сопротивление нагрузки каскада. Во всем диапазоне частот модуль сопротивления нагрузки

$$Z_n = 1 / \sqrt{g_3^2 + (\omega C_{сх})^2}$$

(влиянием последовательного контура можно пренебречь), но на частоте прямого канала сопротивление нагрузки резко уменьшается и практически равно сопротивлению последовательного (режекторного) контура при резонансе:  $Z_n \approx r_p = \rho / Q_{реж} = 1 / (\omega_{пр} C_1 Q_{реж})$ . Следовательно, избирательность по прямому каналу

$$Se_{пк} = \frac{K(f_0)}{K(f_{пж})} \approx \frac{|Y_{21}| R_3}{|Y_{21}| r_p} = \frac{R_3}{r_p},$$

где  $R_3 = 1/g_3$ ,  $g_3 = g_{22} + 1/R_k + g_{вх2}$ .

Параметры транзистора ГТ322 на рабочей частоте можно определить из следующих выражений:

$$g_{11} = \frac{1.1 \cdot 10^{-3}}{1 + (f/f_s)^2} \text{ См}; \quad g_{22} = \frac{6 \cdot 10^{-6}}{1 + (f/f_s)^2} \text{ См};$$

$$|Y_{21}| = \frac{35 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1 + (f/f_s)^2}} \text{ См}; \quad |Y_{12}| = \omega C_{12}.$$

$$C_{12} = 1.8 \text{ пФ}.$$

Нагрузкой УРЧ является входное сопротивление следующего каскада – преобразователя частоты:  $g_{вх2} = g_{11} \approx 0.5 g_{11}$  (преобразователь также выполнен на транзисторе ГТ322).

2.6.2. Рассчитать коэффициент усиления, коэффициент устойчивого усиления, полосу пропускания и избирательность однокаскадного усилителя на заданной частоте (для УРЧ – избирательность по соседнему, зеркальному и прямому каналам, для УПЧ – избирательность по соседнему каналу).

Исходные данные для расчета схемы рис.2.1 (КВ2, КВ3): транзистор ГТ322;  $C_{э\text{min}} = C_{к\text{min}} + C_{сх} = 110 \text{ пФ}$  на КВ2,  $C_{э\text{min}} = 130 \text{ пФ}$  на КВ3;  $m_1 = m_2 = 0.19$ ; остальные данные в табл.2.2.

Таблица 2.2

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8
Диапазон	КВ2	КВ3	КВ2	УПЧ	КВ3	КВ2	КВ3	УПЧ
Частота	$f_{0\text{max}}$	$f_{0\text{ср}}$	$f_{0\text{min}}$	$f_{\text{пр}}$ УП	$f_{0\text{max}}$	$f_{0\text{ср}}$	$f_{0\text{min}}$	$f_{\text{пр}}$ ПП
$Q_s$	30	35	40	105	30	35	40	105

Исходные данные для расчета схемы рис.2.2 (УПЧ): транзистор ГТ322;  $C_1 = C_2 = 510 \text{ пФ}$ ;  $Q_{э1} = Q_{э2} = Q_э$ ;  $m_1 = 0.2$ ;  $m_2 = 0.05$ ; в режиме УП (узкая полоса)  $\beta = \beta_{\text{кр}} = 1$ ; в режиме ПП (широкая полоса)  $\beta = 2.41$ ; остальные данные в табл.2.2.

Методические указания. Расчет УРЧ ведется по формулам (2.1)...(2.4) с учетом того, что  $g_1 = g_{22}$ ,  $g_2 = g_{11}$ .

При расчете каскада УПЧ со связанными контурами (рис.2.2) резонансный коэффициент усиления, полоса пропускания и избирательность по соседнему каналу определяются по следующим формулам:

$$K_0 = \frac{m_1 m_4 |Y_{21}|}{g_3} \cdot \frac{\beta}{1 + \beta^2}; \quad g_3 = \frac{1}{Q_3 \cdot \rho^2};$$

$$P_{0.7} = d_3 f_0 \sqrt{\beta^2 - 1 + \sqrt{2(\beta^4 + 1)}}; \quad \rho = \frac{1}{\omega_{np} \cdot C_1};$$

$$S_{\text{сск}} = \frac{1}{1 + \beta^2} \sqrt{(1 + \beta^2 - \xi_{\text{сск}}^2)^2 + 4\xi_{\text{сск}}^2},$$

где  $\beta$  - параметр связи.

Проводимость нагрузки каскада УПЧ принять равной  $g_{11}$ .

2.6.3. Сделать заготовку отчета к лабораторной работе.

### 3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

3.1. Изучить схемы УРЧ для СВ (или ДВ) и КВ (КВ1, КВ2, КВ3) диапазонов и схему УПЧ лабораторного макета (радиоприемника Рига - 103). Зарисовать в отчет схемы УРЧ и каскада УПЧ. Продумать методику измерения основных показателей УРЧ и УПЧ.

Методические указания. Необходимо обратить внимание на то, что в радиоприемнике Рига - 103 на ДВ и СВ диапазонах применяются апериодические УРЧ, а на КВ диапазонах - резонансные УРЧ. Необходимо выделить элементы, относящиеся к УРЧ каждого диапазона и установить, как осуществляется переключение диапазонов, как подключается к УРЧ входная цепь, КПЕ, следующий каскад - преобразователь частоты. Установить назначение элементов схемы, уяснить назначение и принцип действия режекторного фильтра  $L_1 C_9$ .

Изучить схемы первого и второго каскадов УПЧ, выделить двухконтурные полосовые фильтры, настроенные на промежуточные частоты 465 кГц и 6.8 МГц, установить назначение элементов, определить влияние переключателей на вид нагрузки транзисторов УПЧ (в диапазонах ДВ, СВ, КВ и УКВ), назначение клавиши ПОЛОСА (BAND) и ее влияние на АЧХ УПЧ.



3.2. Исследовать характеристики апериодического УРЧ. Оценить диапазон частот, в котором возможно использование данного УРЧ.

3.2.1. Определить основные качественные показатели УРЧ: коэффициент усиления, полосу пропускания и избирательность по прямому каналу.

Методические указания. Собрать схему для исследования УРЧ: на вход транзистора УРЧ подать немодулированное напряжение 10...20 мВ от генератора сигналов (с выхода «мкВ»), к выходу УРЧ подключить милливольтметр. Переключатель преселектора поставить в положение ВКЛ. Отключить входную цепь, гетеродин и АРУ.

Переключатель диапазонов приемника установить в положение ДВ или СВ. Коэффициент усиления  $K_0$  апериодического усилителя определяется в области рабочих частот соответствующего поддиапазона, полоса пропускания определяется на уровне 0.7, избирательность по прямому каналу определяется на промежуточной частоте.

3.2.2. Снять амплитудно-частотную характеристику усилителя до уровня 0.1.

Методические указания. При измерении АЧХ усилителя следует взять число точек, необходимое для достаточно точного построения АЧХ. Характерными для АЧХ являются точки, соответствующие уровням 0.1; 0.3; 0.5; 0.7 и 0.9  $K_0$ . Аналогично необходимо провести измерения и в области режекции - на промежуточной частоте. Данные измерений свести в таблицу. Построить график АЧХ.

3.3. Исследовать характеристики диапазонного резонансного УРЧ.

3.3.1. Определить основные качественные показатели резонансного УРЧ - резонансный коэффициент усиления, полосу пропускания и избирательность по соседнему, зеркальному и прямому каналам.

Исследовать зависимость основных качественных показателей от частоты настройки УРЧ.

Методические указания. Переключатель диапазонов приемника установить в положение КВ2.

Основные показатели УРЧ измерить на трех частотах диапазона - на минимальной, средней и максимальной. Коэффициент усиления УРЧ определяется на частоте резонанса, полоса пропускания определяется на уровне 0.7. Данные измерений свести в таблицу. Построить графики изменения основных показателей от частоты настройки.

3.3.2. Снять амплитудную характеристику УРЧ. Определить границы линейного участка амплитудной характеристики.

Методические указания. Выходное напряжение генератора сигналов увеличивать от 0 до 50 мВ через 5 мВ. Данные измерений свести в таблицу. Построить график АХ.

3.4. Исследовать характеристики УПЧ со связанными контурами.

3.4.1. Определить основные качественные показатели однокаскадного УПЧ - резонансный коэффициент усиления, полосу пропускания, коэффициент прямоугольности на уровне 0.1 и избирательность по соседнему каналу в режимах "узкая полоса" и "широкая полоса".

Методические указания. Собрать схему для исследования УПЧ. На вход транзистора первого каскада УПЧ подать напряжение 10...20 мВ от генератора сигналов (с выхода «мкВ»). К выходу фильтра ПЧ первого каскада подключить милливольтметр. При определении коэффициента прямоугольности измеряются полосы пропускания усилителя на уровне 0.1 и 0.7 и находится их отношение. При определении избирательности по соседнему каналу необходимо измерить коэффициенты усиления при расстройке на  $\pm 9$  кГц.

3.4.2. Снять АЧХ двухкаскадного УПЧ со связанными контурами в режимах "узкая полоса" и "широкая полоса" до уровня 0.1.

Методические указания. Собрать схему для исследования двухкаскадного УПЧ. На вход транзистора пер-

вого каскада УПЧ подать напряжение 10...20 мВ от генератора сигналов (с выхода «мкВ»). К выходу фильтра ПЧ второго каскада подключить милливольтметр.

Снять АЧХ двухкаскадного УПЧ в режимах “узкая полоса” и “широкая полоса” до уровня 0.1, используя электронный частотомер. Построить АЧХ и определить по ним основные показатели двухкаскадного УПЧ.

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение и качественные показатели УРЧ и УПЧ.
2. Нарисуйте принципиальную схему резонансного УРЧ, объясните назначение элементов схемы, покажите пути постоянной и переменной составляющей токов базы и коллектора транзистора.
3. Нарисуйте принципиальную схему каскада УПЧ с двухконтурным полосовым фильтром, объясните назначение элементов схемы, покажите пути постоянной и переменной составляющей токов базы и коллектора транзистора.
4. Как выбирается режим работы каскада УРЧ? Как осуществляется стабилизация режима?
5. Начертите графики изменения во времени напряжений на базе и на коллекторе УВЧ при действии на его входе синусоидального немодулированного сигнала; амплитудно-модулированного сигнала.
6. Как изменяется коэффициент усиления, полоса пропускания и избирательность УРЧ при его перестройке в диапазоне частот?
7. Нарисуйте эквивалентную схему резонансного усилителя и объясните методику ее составления.
8. С какой целью проводится согласование каскадов? Как это осуществляется практически?
9. Что такое обратная связь и как она образуется в УВЧ? Укажите способы ослабления паразитных связей в УВЧ. Какая обратная связь в УВЧ принципиально неустранима?
10. Как влияет внутренняя обратная связь на работу УВЧ? Что понимается под устойчивостью резонансного (полосового)

усилителя в радиоприемнике? В чем проявляется неустойчивая работа резонансного усилителя?

11. Что называют коэффициентом устойчивости? Из каких соображений он выбирается?

12. Что называют коэффициентом устойчивого усиления? Какие меры можно предпринять для увеличения коэффициента устойчивого усиления УВЧ?

13. Какой вид имеет АЧХ резистивного усилителя высокой частоты? Какие требования предъявляются к АЧХ резистивного УРЧ диапазонного приемника?

14. Как можно повысить избирательность УРЧ по каналу прямого прохождения?

### 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Расчеты, таблицы и графики в соответствии с п.2.7 домашнего задания, основные расчетные формулы.
3. Блок-схемы измерений.
4. Принципиальные схемы исследуемых на макете вариантов УРЧ и каскада УПЧ.
5. Таблицы экспериментальных данных и графики, совмещенные с графиками домашнего задания.
6. Краткие выводы по проделанной работе, содержащие анализ полученных результатов, сопоставление расчетных и экспериментальных данных с указанием возможных причин их расхождения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Румянцев К.Е. Прием и обработка сигналов: учеб. пособие / К.Е. Румянцев. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 528 с.
2. Колосовский Е.А. Устройства приема и обработки сигналов: учеб. пособие / Е.А. Колосовский. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 456 с.
3. Буга Н.Н. Радиоприемные устройства / Н.Н. Буга, А.И. Фалько, Н.И. Чистяков. М.: Радио и связь, 1986. 320 с.
4. Палшков В.В. Радиоприемные устройства / В.В. Палшков. М.: Радио и связь, 1984. 392 с.
5. Радиоприемные устройства / под ред. А.Г. Зюко. М.: Связь, 1975. 400 с.
6. Радиоприемные устройства / под ред. В.И. Сифорова. М.: Сов. радио, 1974. 560 с.
7. Чистяков Н.И. Радиоприемные устройства / Н.И. Чистяков, В.М. Сидоров. М.: Связь, 1974. 408 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.....	1
Лабораторная работа № 1	
Входные цепи радиоприемников.....	1
Лабораторная работа № 2	
Усилители высокой и промежуточной частот радиоприемников.....	20
Библиографический список.....	35

**ВХОДНЫЕ ЦЕПИ, УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ  
И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам № 1, 2  
по дисциплинам

«УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ»  
и «УСТРОЙСТВА ПРИЕМА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ  
СИГНАЛОВ»

для студентов специальности 210302.65 «Радиотехника»  
и направления 210400.62 «Радиотехника» (профиль  
«Радиотехнические средства передачи, приема и обработки  
сигналов») очной и заочной форм обучения

Составитель  
Поликарпов Эдуард Дмитриевич

В авторской редакции

Компьютерный набор Н.А.Чередниченко

Подписано в печать 29.01.2013.  
Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов.  
Усл. печ. л. 2,4. Уч.-изд. л. 2,2. Тираж 55 экз. «С» 12.  
Заказ № 17.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14