

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ РАДИОПРИЕМНИКА

Методические указания
к лабораторной работе

Куйбышев 1990

Составитель Л.И. К а л а к у т с к и й

УДК 621.396.62

Исследование схем автоматической регулировки усиления радиоприемника: Метод. указания к лаборатор. работе/Куйбышев. авиац. ин-т; Сост. Л.И. Калакутский. Куйбышев, 1990. 12 с.

Приведены общие сведения по построению автоматической регулировки усиления (АРУ) в приемниках АМ-сигналов, рассмотрены особенности схем АРУ в каскадах приемников на интегральных микросхемах, дано описание лабораторного макета, приведен порядок выполнения работы.

Указания предназначены для студентов спец. 2301. Составлены на кафедре "Радиотехнические устройства".

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С.П. Королева

Рецензент Н.Я. Янцен

Ц е л ь р а б о т ы: ознакомление с построением и основными характеристиками автоматической регулировки усиления (АРУ) приемников АМ-сигналов, изучение схем АРУ на интегральных микросхемах (ИМС) серий К237 и К174.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ АРУ ПРИЕМНИКОВ АМ-СИГНАЛОВ

Принцип действия АРУ. Автоматическая регулировка усиления в приемниках предназначена для поддержания некоторого номинального значения выходного напряжения приемника в условиях изменения интенсивности принимаемых сигналов. АРУ предотвращает перегрузку усилительных каскадов, тем самым устраняя возможность появления нелинейных искажений, и обеспечивает нормальную работу оконечных устройств приемника при заданном динамическом диапазоне амплитуд сигналов в антенне.

Действие АРУ приемников АМ-сигналов основано на том, что средний уровень напряжения принимаемого сигнала используется для регулировки усиления высокочастотных каскадов, стоящих до детектора. При этом увеличение уровня сигнала на входе приемника вызывает уменьшение коэффициента усиления регулируемых каскадов и, наоборот, уменьшение величины сигнала приводит к тому, что усиление приемника возрастает, приближаясь к своему номинальному значению, определяемому чувствительностью.

Наибольшее распространение в приемниках получили схемы так называемой "обратной" АРУ, в которых цепь АРУ и регулируемый усилитель представляют собой замкнутую систему автоматического регулирования с обратной связью. В схемах "обратной" АРУ напряжение с выхода усилительных каскадов через цепь АРУ, включающую детектор, схему задержки, фильтр, усилитель, подается на регулируемые каскады. Для уменьшения нелинейных искажений в качестве регулируемых каскадов используются каскады с малым уровнем принимаемого сигнала – усилитель радиочастоты (УРЧ), первые каскады усилителя промежуточной частоты (УПЧ). На выходе детектора выделяется напряжение со средним значением, пропорциональным амплитуде несущей принимаемого сигнала. Фильтр обуславливает инерционные свойства АРУ и отфильтровывает составляющие модуляции для

предотвращения демодуляции сигнала в регулируемых каскадах и искажений частоты модуляции. В результате на выходе фильтра создается медленно изменяющееся напряжение, поступающее на регулируемые каскады. Схема задержки придает цепям АРУ пороговые свойства, так как нет необходимости снижать усиление слабых сигналов, не создающих перегрузок приемника при номинальном усилении регулируемых каскадов. Задержка АРУ осуществляется путем подачи запирающего смещения на детектор или усилитель. В некоторых схемах задержка может быть получена без дополнительных устройств, она обеспечивается нелинейностью характеристики детектора АРУ или соответствующим выбором регулировочной характеристики регулируемого каскада.

Основные параметры и характеристики АРУ. Диапазон регулировки усиления АРУ или максимальная глубина регулировки АРУ определяется соотношением

$$D_{APY} = D_{BX} / D_{BIX},$$

где $D_{BX} = E_{a \max} / E_{a \text{ном}}$ - динамический диапазон амплитуд входных сигналов, в котором должен работать приемник с АРУ, здесь $E_{a \max}$ - максимальное значение входного сигнала, $E_{a \text{ном}}$ - величина входного сигнала, соответствующая началу работы АРУ; $D_{BIX} = U_{BIX \max} / U_{BIX \text{ном}}$ - динамический диапазон выходных сигналов приемника с АРУ; $U_{BIX \max}$ - максимальная амплитуда выходного сигнала, которая считается допустимой при заданном уровне искажений; $U_{BIX \text{ном}}$ - амплитуда выходного сигнала, соответствующая началу работы АРУ.

Амплитудная характеристика приемника с АРУ представляет собой зависимость амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного. Чем выше стабилизация уровня выходного сигнала при увеличении входного сигнала, тем ближе график амплитудной характеристики приближается к прямой, параллельной оси абсцисс.

Регулировочной характеристикой называют зависимость коэффициента усиления одного или нескольких регулируемых каскадов от управляющего напряжения цепи АРУ. Характеристики АРУ удобно представлять либо в полулוגарифмических, либо в логарифмических координатах.

Инерционные свойства АРУ зависят от выбора постоянной времени фильтра АРУ T_{ϕ} и петлевого усиления в цепи АРУ K_{APY} . Повышение быстродействия АРУ требует уменьшения T_{ϕ} и повышения K_{APY} . Минимальное значение T_{ϕ} определяется требованиями к фильтрации низшей частоты модуляции. Наибольшее значение K_{APY} ограничивается требованиями устойчивой работы АРУ.

Требования, предъявляемые к схемам АРУ

1. Обеспечение заданного диапазона регулировки (глубины регулировки) АРУ.
2. Минимальные нелинейные искажения в высокочастотном тракте при регулировке.
3. Изменение параметров частотной характеристики регулируемых каскадов при действии АРУ не должно превышать допустимые пределы.
4. Обратная связь по цепи АРУ не должна нарушать устойчивую работу приемника.

Способы регулировки усиления, используемые в каскадах с АРУ

В приемниках на транзисторах и ИМС используются следующие методы регулировки усиления каскадов:

1. "Режимная" регулировка, осуществляемая путем изменения режима работы усилительного элемента по постоянному току (например изменением тока эмиттера).
2. Регулировка путем изменения глубины отрицательной обратной связи (ООС) в каскаде, осуществляемая применением управляемых цепей ООС.
3. Регулировка коэффициента передачи межкаскадных цепей, осуществляемая путем использования управляемых аттенуаторов, включаемых в тракт прохождения сигнала.
4. Регулировка путем изменения нагрузочных сопротивлений усилительных каскадов.

Каскады с режимной регулировкой с учетом допустимых нелинейных искажений обеспечивают изменение усиления на каскаде не более, чем в 15-20 раз. С увеличением глубины регулировки изменяются входные и выходные сопротивления каскада, что особенно сильно сказывается на частотах, близких к граничным. Это ведет к уменьшению коэффициентов включения активных элементов в резонансный контур и увеличению числа каскадов усилителя.

При увеличении амплитуды входного сигнала регулировка усиления путем управления глубиной ООС позволяет уменьшать нелинейные искажения в регулируемом каскаде, что удобно для АРУ первых каскадов приемника (например УРЧ).

Управляемые аттенюаторы имеют максимальный коэффициент усиления меньше единицы; они позволяют относительно просто обеспечить глу-бокую АРУ. Для диодных схем коэффициент передачи изменяется в 60...70 раз, для схем на полевых транзисторах - на порядок больше.

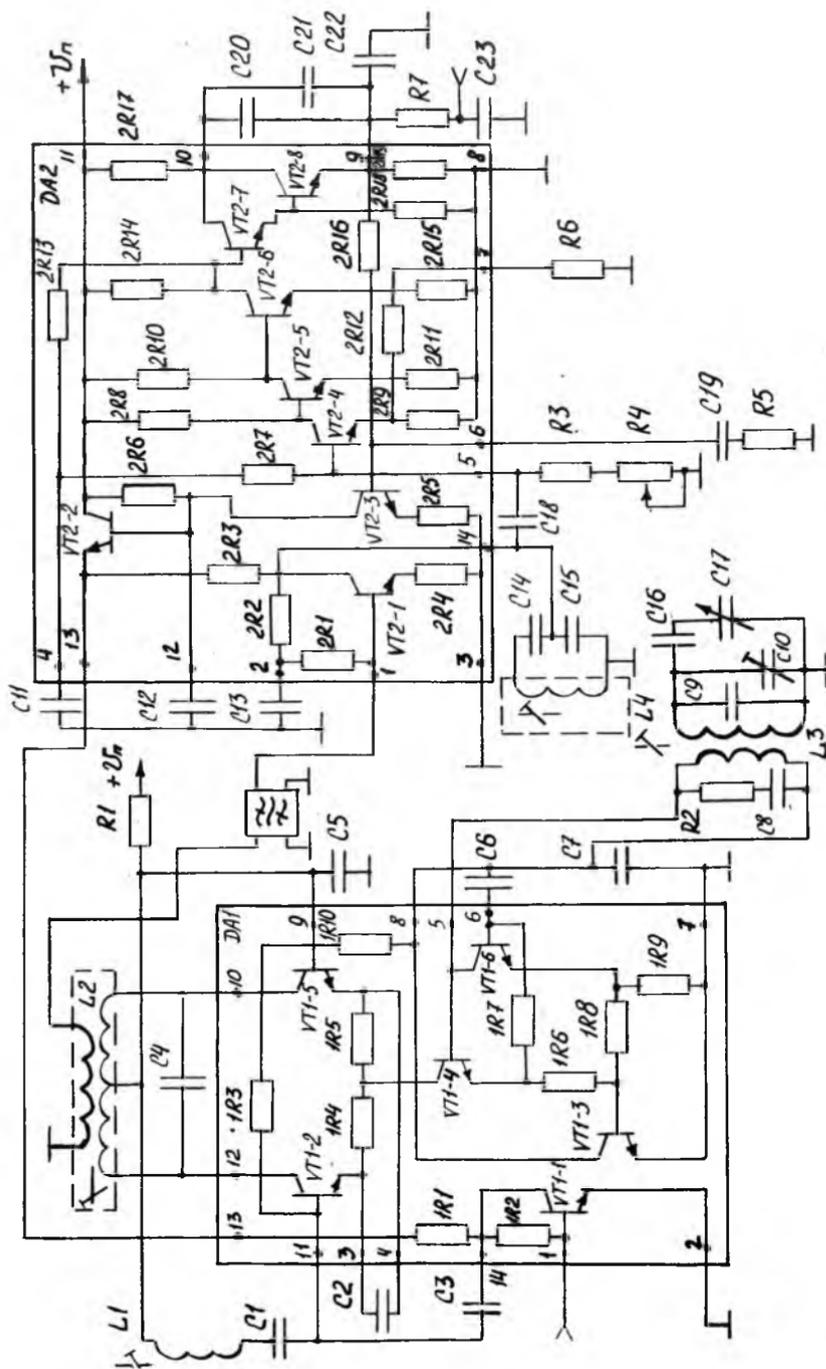
Изменение нагрузочных сопротивлений осуществляется путем шунти-рования нагрузок каскадов управляемыми сопротивлениями - диодами, по-левыми транзисторами, варисторами. Данный вид регулировки обеспечи-вает небольшой динамический диапазон изменения усиления и использует-ся в комбинации с другими схемами.

С х е м ы А Р У п р и е м н и к о в н а И М С. Схемы АРУ входят во все высокочастотные усилительные каскады приемников на ИМС. В сериях ИМС малой степени интеграции усилительные каскады пре-дусматривают вход для подачи регулирующего напряжения АРУ, схемное построение цепи АРУ - режимная регулировка (235УВ1, К175УВ2, 235УР3). При этом ИМС детекторов сигналов содержат детектор и усилитель АРУ (235 ДАГ).

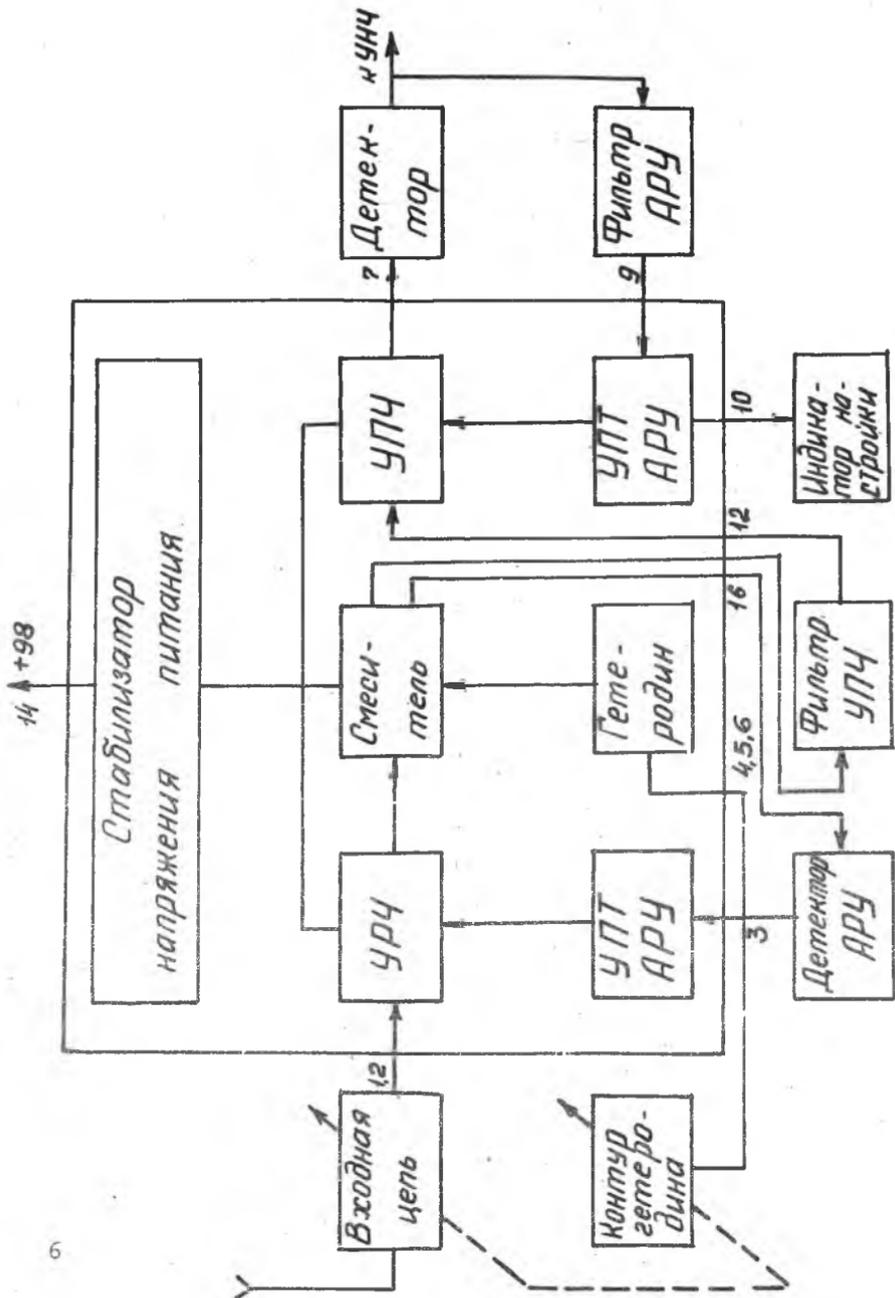
Усиление приемника, построенного на ИМС К237, регулируется двумя каскадами, охваченными АРУ. Первый, являющийся усилителем радио-частоты, входит в состав микросхемы К237ХК1, которая включает также смеситель и гетеродин. Второй регулируемый каскад находится в УПЧ (микросхема К237ХК2). В регулируемых каскадах на транзисторах 2V77 и 2V71 (рис.1) усиление уменьшается при снижении напряжения питания (вывод I3 микросхемы А2). Вместе с коллекторным напряжением при этом уменьшаются токи эмиттеров транзисторов. Возможная глубина регулиров-ки составляет 30...35 дБ. Чувствительность регулировки в начале диа-пазона мала, затем возрастает, что обеспечивает определенную задерж-ку регулирования при слабых сигналах в антенне.

Постоянная составляющая напряжения на выходе детектора (вывод 9 микросхемы А2) через фильтр АРУ (2R16, С9) поступает на базу первого каскада усилителя постоянного тока (УПТ) АРУ (2V73). С ростом сиг-нала на входе приемника транзистор 2V73 (при малых сигналах закрыт) открывается и снижает напряжение смещения на базе второго транзисто-ра (2V72). В результате уменьшается напряжение на эмиттере 2V72, которое и служит управляющим в цепи АРУ.

Большим диапазоном регулировки усиления обладает микросхема К174ХА2, разработанная для построения высокочастотного олюка АМ радио-вещательных приемников I-III класса. Структурная схема приемника, по-строенного на этой микросхеме, приведена на рис. 2.



Р и с. I

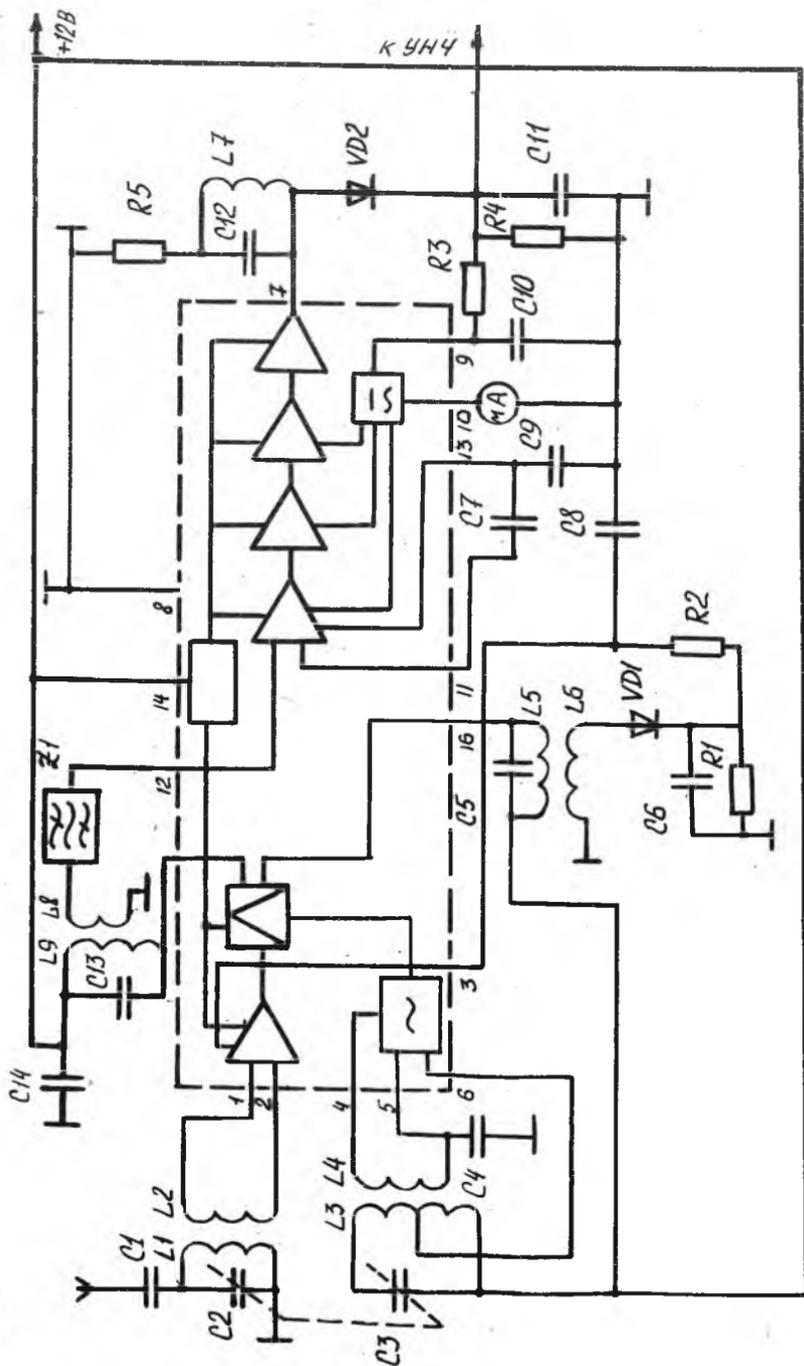


Р и с . 2

Усилитель радиочастоты (УРЧ) представляет собой аperiodический дифференциальный усилитель ($V T1, V T2$) с регулируемым усилением (рис.3, вкладка). Регулировка усиления осуществляется комбинированным методом: за счет ООС в эмиттерных цепях транзисторов и путем управляемого шунтирования нагрузки транзисторов в коллекторных цепях. Регулируемыми элементами в обеих цепях являются диоды: в первом случае $V D3, V D4$, во втором — $V D1, V D2$. Ток диодов меняется с помощью УПТ на транзисторах $V T3 - V T5$. При малых сигналах напряжение на базе $V T3$ близко к нулю, ток транзистора имеет максимальное значение, соответственно $V T4$ закрыт. Диоды $V D3, V D4$ открыты, их сопротивление мало, соответственно мала глубина ООС $V T1, V T2$. Диоды $V D1, V D2$ при этом заперты, так как ток транзистора $V T5$ мал и все напряжение питания приложено к катодам диодов, в то время как аноды находятся под меньшим потенциалом. Большое сопротивление диодов $V D1, V D2$ не шунтирует нагрузки $R2, R4$ УРЧ, поэтому каскад работает с максимальным усилением. При больших входных сигналах увеличивается потенциал базы транзистора $V T3$, ток которого уменьшается, и растет ток $V T4$. Ток диодов $V D3, V D4$ падает, сопротивление их растет, а диоды $V D1, V D2$ открываются, так как увеличивается ток транзистора $V T5$ и снижаются потенциалы катодов диодов. В результате усиления УРЧ падает, так как увеличивается ООС и, кроме того, нагрузка каскада шунтируется диодами. При этом диапазон регулирования УРЧ равен примерно 38 дБ.

Смеситель микросхемы выполнен по двойной балансной схеме на транзисторах $V T7 - V T12$. Один из его выходов (например $I6$) может использоваться для включения контура детектора АРУ УРЧ, другой ($I5$) — для подачи сигнала промежуточной частоты в фильтр сосредоточенной селекции (ФСС). Гетеродин собран на транзисторах $V T14, V T15$.

УПЧ состоит из четырех дифференциальных каскадов, причем первые три на транзисторах $V T17 - V T28$ — регулируемые. Управляющий сигнал в регулируемые каскады подается со второго УПТ АРУ, собранного на транзисторах $V T31 - V T34$. При малом сигнале потенциал базы $V T32$ (вывод 9) мал и транзистор открыт, соответственно транзистор $V T33$ закрыт. При этом падение напряжения на базе $V T33$ мало и потенциал на базе $V T31$ равен напряжению источника питания, а ток $V T31$ достигает максимального значения. Диоды $V D15 - V D20$, включенные в эмиттерные цепи дифференциальных каскадов, смещены в прямом направлении, их сопротивление мало, а значит, мала и глубина ООС в каскадах. Усиление УПЧ достигает максимального значения.



Р и с . 4

С ростом входного сигнала увеличивается положительный потенциал на базе VT32, ток VT33 возрастает, ток VT31 падает. Диоды в цепях эмиттеров запираются, их сопротивление увеличивается. Глубина ООС растет, усиление каскадов падает. Номиналы резисторов R 26, R 36, R 47, а также режимы каскадов выбирают такими, чтобы сначала регулировался третий каскад УПЧ, далее - второй, а затем - первый. Каждый каскад УПЧ обеспечивает диапазон регулировки в пределах 20 дБ.

Один из возможных вариантов включения ИМС KI74XA2 приведен на рис. 4. Регулировка УРЧ осуществляется напряжением АРУ, полученным с детектора, включающего контур L 2C3, диод VD1; фильтр АРУ - R1, C1. Регулировка УПЧ осуществляется напряжением АРУ с выхода детектора сигнала VD2; фильтр АРУ - R3, C8. Таким образом, в схеме применена двухпетлевая АРУ, позволяющая получить регулирование при диапазоне входных сигналов, превышающих 60 дБ. Возможно построение однопетлевой схемы АРУ, при которой напряжение АРУ с выхода детектора сигналов подается на УПЧ. Однако, первый вариант включения ИМС KI74XA2 предпочтительнее, так как регулировка по сигналу с выхода смесителя, осуществляемая в полосе контура L 2, C3, позволяет уменьшить нелинейные эффекты в УРЧ, возникающие от близко расположенных мощных станций, кроме того, регулирование начинается, когда входные сигналы более 500 мкВ; при больших входных сигналах это позволяет реализовать максимальное соотношение сигнал/шум.

В результате действия всей системы АРУ при изменении входного сигнала до 80 дБ изменение сигнала на выходе составляет 10 дБ.

Тракт УРЧ-СМ-УПЧ, построенный на ИМС KI74XA2, отличается высокой линейностью благодаря наличию местной ООС во всех каскадах усиления.

ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ МАКЕТА

Макет высокочастотного блока приемника на микросхемах серии K237. Макет высокочастотного блока приемника на ИМС серии K237 состоит из макета преобразователя частоты (ПЧ) на ИМС K237XK1 и макета УПЧ на ИМС K237XK2. В данной работе макеты соединяются следующим образом: клемма X4 макета ПЧ с клеммой X1 макета УПЧ, соответственно X5 ПЧ с X2 УПЧ и X6 ПЧ с X3 УПЧ. При установке переключателя S 2 макета ПЧ в положение "АРУ" каскад УРЧ микросхемы K237XK1 питается напряжением АРУ с транзистора I VT2 микросхемы K237XK2.

Входной сигнал подводится к макету от генератора сигналов через клеммы Х1, Х2 макета ПЧ. Напряжение на выходе детектора сигнала контролируется с помощью милливольтметра и осциллографа на клеммах Х5, Х6 макета УПЧ. Несущая частота сигнала, подаваемого на макет, устанавливается в пределах 500 ... 1500 кГц.

Макет приемника на микросхемах серии К174. Принципиальная схема макета приемника на ИМС серии К174 показана на рис. 5 (вкладка).

Макет собран на микросхеме К174ХА2 (высокочастотный блок) и К174УН7 (усилитель низкой частоты). Входная цепь образована элементами $\angle 1$, С2, $\angle 2$, $\nabla Д1$, $\nabla Д2$; контур гетеродина — элементами $\angle 3$, С5, $\angle 4$, $\nabla Д3$. В качестве ФСС применен пьезоэлектрический фильтр $\neq 1$. Детектор сигнала и АРУ собраны на диоде $\nabla Д5$; $\angle 7$, С16 образуют выходной контур УПЧ. Переключатель $\mathcal{S} 1$ включает (полож. 1) и выключает (полож. 2) АРУ УРЧ. Переключатель $\mathcal{S} 2$ изменяет величину емкости фильтра АРУ. Переключатель $\mathcal{S} 3$ включает (полож. 1) и выключает (полож. 2) АРУ УПЧ. Переключатель $\mathcal{S} 4$ служит для отключения динамического громкоговорителя.

Входной сигнал подводится к макету от генератора сигналов через клеммы Х1, Х2. Напряжение на выходе приемника контролируется с помощью милливольтметра и осциллографа на клеммах Х4, Х5. Тумблер $\mathcal{S} 5$ служит для включения питания макета. Несущая частота сигнала, подаваемого на макет, устанавливается в пределах 600–1200 кГц.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерить амплитудную характеристику высокочастотного блока приемника на ИМС К237 для случаев:

отключенная схема АРУ; при этом переключатель $\mathcal{S} 2$ макета ПЧ устанавливается в полож. "РРУ", а резистор $\mathcal{R} 1$ в среднее положение; переключатель $\mathcal{S} 2$ макета УПЧ в полож. 2;

включенная схема АРУ УПЧ; при этом переключатель $\mathcal{S} 2$ макета УПЧ устанавливается в полож. 1;

включенная схема АРУ в УПЧ и в УРЧ; при этом переключатель $\mathcal{S} 2$ макета ПЧ устанавливается в полож. "АРУ".

1.1. Собрать макет высокочастотного блока приемника на ИМС К237 в соответствии с описанием.

1.2. Установить переключатели макета в соответствии с выбранной для исследования схемой.

1.3. Настроить макет ПЧ на частоту принимаемого сигнала, выбрав необходимое положение ручки регулировки частоты гетеродина.

1.4. Измерить амплитудную характеристику для уровня выходных сигналов от единиц микровольт до значений, при которых появляются нелинейные искажения, зафиксировав не менее 10 точек.

1.5. Построить амплитудную характеристику; определить динамический диапазон и усиление; определить D_{APU} для $D_{вых} = 10$ дБ.

2. Измерить регулировочную характеристику блока УПЧ на ИМС К237.

2.1. Подать на макет УПЧ сигнал с частотой 465 кГц.

2.2. Измерить амплитудную характеристику для уровня входных сигналов от десятков микровольт до значений, при которых появляются нелинейные искажения, зафиксировав не менее 10 точек. Для каждой точки амплитудной характеристики записать напряжение регулировки, измеряемое вольтметром постоянного тока, подключенного к клеммам X4, X6.

2.3. Рассчитать для каждой точки амплитудной характеристики усиление УПЧ и построить регулировочную характеристику.

3. Измерить амплитудную характеристику приемника на ИМС К174 для случаев:

отключенная схема АРУ; при этом переключатели макета устанавливаются в положения: $S I - 2$, $S 3 - 2$;

включенная схема АРУ УПЧ ($S 3$ в полож. 1);

включенная схема АРУ УПЧ и УРЧ ($S I$ в полож. 1).

3.1. Установить переключатель макета в соответствии с выбранной для исследования схемой.

3.2. Настроить макет на частоту принимаемого сигнала, выбрав необходимые положения ручек регулировки частоты гетеродина и настройки входной цепи.

3.3. Выполнить требования пп. 1.4 - 1.5.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.

2. Схемы макетов, включающие структурные схемы ИМС и принципиальные схемы цепей АРУ.

3. Перечень используемых приборов с указанием их основных данных.

4. Таблицы с результатами измерений.

5. Графики зависимостей, определенных в пп. 1, 2, 3.
6. Расчетные формулы.
7. Выводы о полученных результатах и их сопоставление с теорией.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К РАБОТЕ

1. Каково назначение схемы АРУ в радиоприемниках?
2. Назовите способы регулировки усиления каскадов радиоприемника, применяемые для целей АРУ.
3. Поясните структурную схему "обратной" АРУ.
4. Назовите каскады супергетеродинного приемника, охватываемые схемой АРУ.
5. Поясните основные показатели и характеристики АРУ.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

1. Изобразите схемы АРУ и объясните назначение элементов:
 - а) режимная АРУ с подачей управляющего напряжения в цепь базы транзистора; АРУ с задержкой;
 - б) усиленная режимная АРУ;
 - в) эстафетная схема АРУ;
 - г) АРУ с использованием регулируемой ООС;
 - д) АРУ с использованием шунтирования нагрузок;
 - е) АРУ с использованием управляемых аттенкуаторов.
2. Объясните построение принципиальных схем АРУ на ИМС К237, К174.
3. Объясните преимущества и недостатки "прямой" и "обратной" АРУ.
4. Изобразите структурную схему "обратной" АРУ и объясните назначение элементов.
5. Какие факторы определяют быстродействие АРУ?
6. Как выбирается величина постоянной времени АРУ в приемниках АМ-сигналов?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиоприемные устройства /Под ред. А.П.Жуковского. М.:Вышш. шк., 1989. С. 158-169.
2. Буга Н.Н. и др. Радиоприемные устройства. М.:Радио и связь, 1986. С. 170-190.

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ
РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ РАДИОПРИЕМНИКА

Составитель К а л а к у т с к и й Лев Иванович

Редактор Е.Д. А н т о н о в а
Техн. редактор Н.М. К а л е н ю к
Корректор Е.Г. Ф и л и п п о в а

Подписано в печать 3.10.90 г. . Формат 60x84 1/16.
Бумага оберточная. Печать оперативная. Усл. п.л.0,93.
Усл.кр.-отт.0,95.Уч.-изд.л.0,9+2 вкладки.Тираж 500 экз.
Заказ № 5520. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П. Королева.
443086 Куйбышев, Московское шоссе, 34.

Тип. им. В.П. Мяги Куйбышевского полиграфического
объединения. 443099 Куйбышев, ул. Венцека, 60.

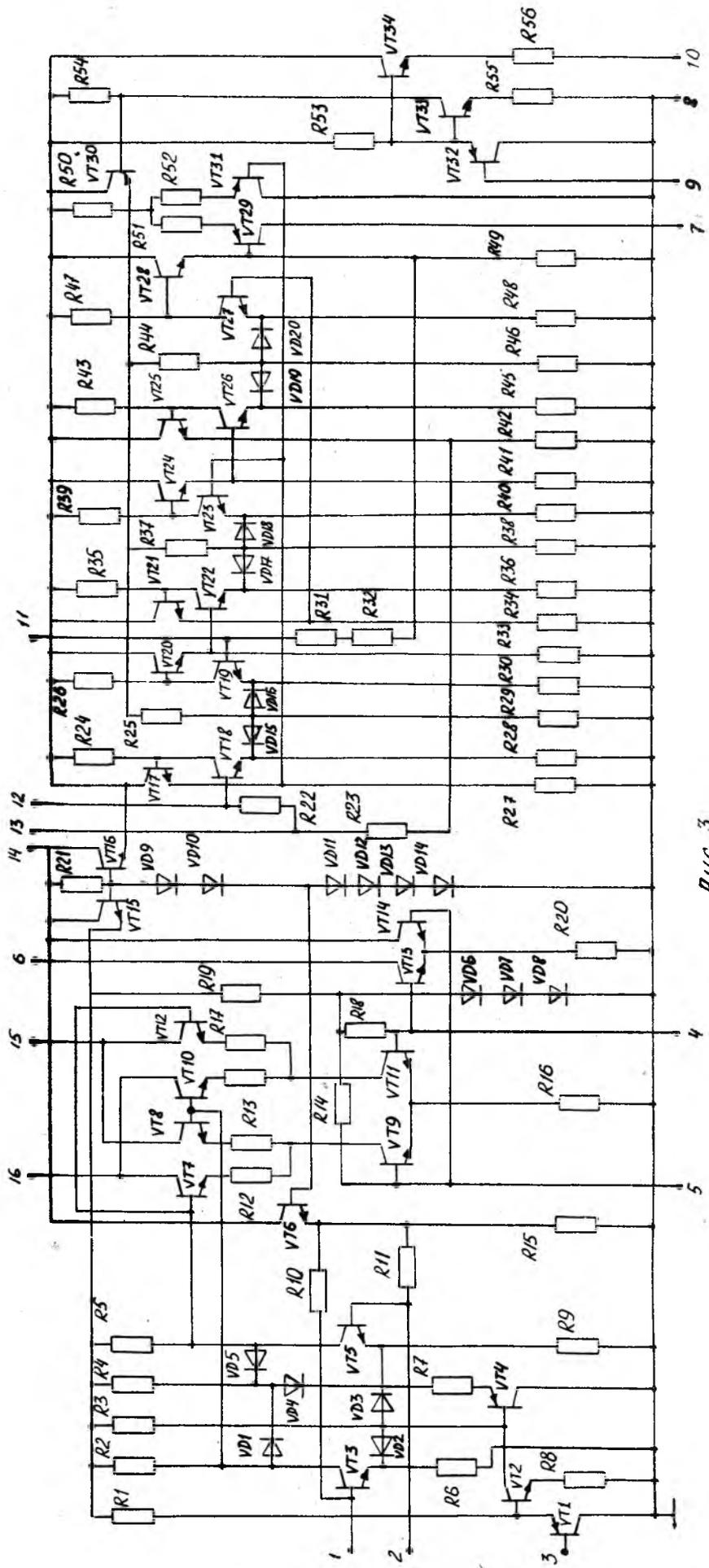
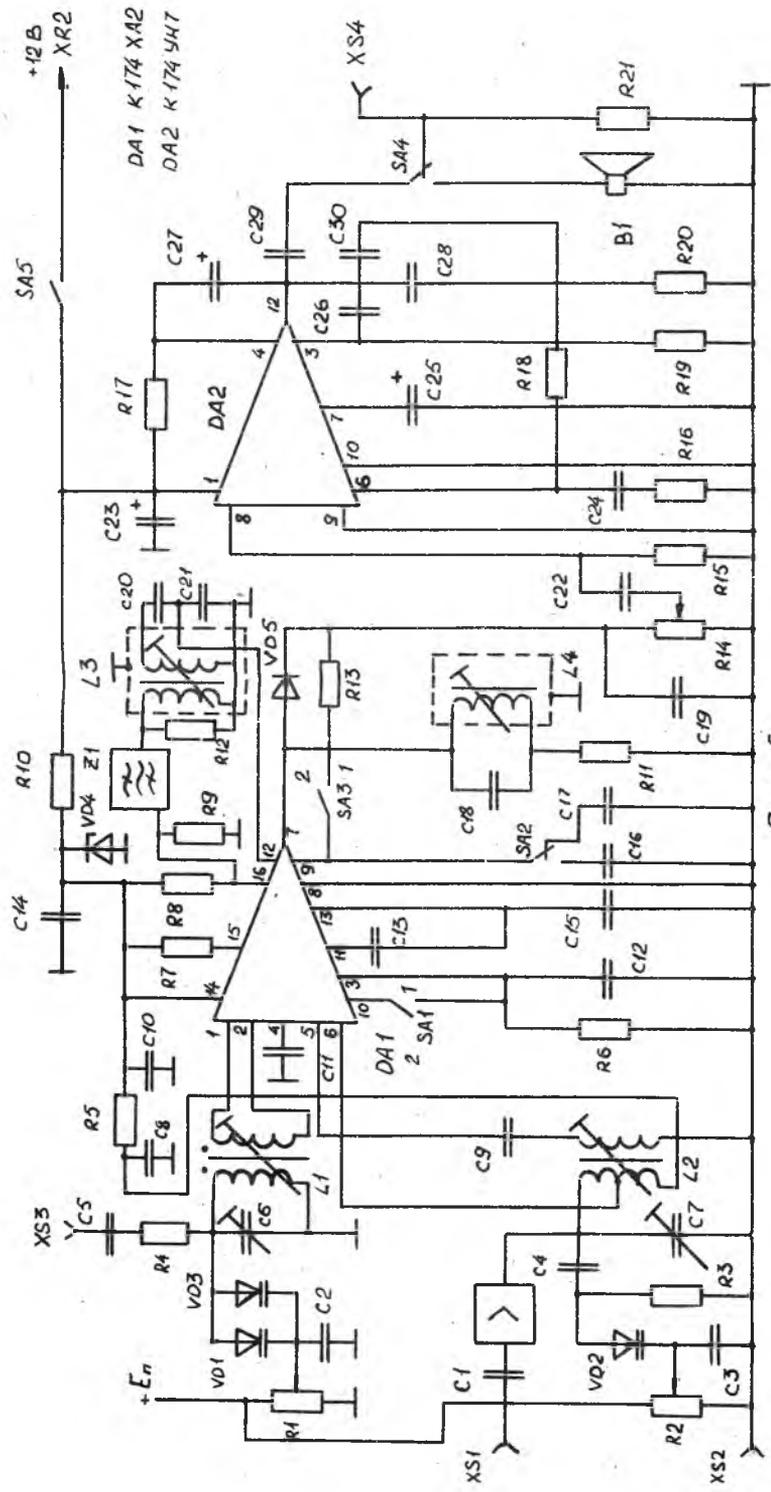


Рис. 3



P100.5