

Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского
Радиофизический факультет

Кафедра радиотехники

**Отчёт по лабораторной работе
Супергетеродинный радиоприёмник**

Выполнили (430 гр):

Горюнов О.А., Индисов А.И., Шестериков Е.А.

2023 г.

Содержание

1	Теоретическая часть	3
1.1	Общие сведения	3
1.2	Основные характеристики радиоприёмника	3
1.3	Приёмник прямого усиления	5
1.4	Супергетеродинный приёмник	6
1.5	Основные узлы радиоприёмников и их характеристики	7
2	Схема экспериментальной установки	11
3	Практическая часть	12
3.1	Амплитудно-частотная характеристика усилителя звуковой частоты	12
3.2	Амплитудно-частотная характеристика усилителя промежуточной частоты .	13
3.3	Детекторная характеристика	15
3.4	Частота гетеродина	16
3.5	Амплитудно-частотная характеристика приёмника	16
3.6	Амплитудно-частотная характеристика входной цепи	17
4	Вывод	19

Цель работы

Познакомиться с физическими процессами, происходящими в радиоприемных устройствах. А также изучить схему и принцип работы супергетеродинного приёмника.

1 Теоретическая часть

1.1 Общие сведения

Радиоэлектронное устройство, предназначенное для улавливания электромагнитных колебаний высокой частоты, их преобразования и извлечения из них полезной информации, называется радиоприемным устройством. Оно состоит из приемной антенно-фидерной системы, собственно радиоприемника, оконечного устройства и источников питания.

Основными узлами радиоприемника являются входные цепи (ВЦ), усилитель радиочастоты, преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, детектор, системы автоматического регулирования, ручные регуляторы и усилитель низких частот. В качестве оконечных устройств используются телефоны, громкоговорители, телеграфные аппараты, электроннолучевые трубки и электронные вычислительные машины.

1.2 Основные характеристики радиоприёмника

Основными электрическими характеристиками радиоприемника являются чувствительность, избирательность, помехоустойчивость, качество воспроизведения сигналов, диапазон рабочих частот и выходные параметры.

Чувствительностью радиоприемника называется его способность обеспечивать нормальный прием слабых сигналов, её оценивают минимальной величиной сигнала в антенне, которая необходима для получения номинальной мощности на выходе приемника при заданном превышении сигнала над шумами. Для обнаружения сигнала на фоне шумов нужно, чтобы интенсивность сигнала была больше интенсивности шума.

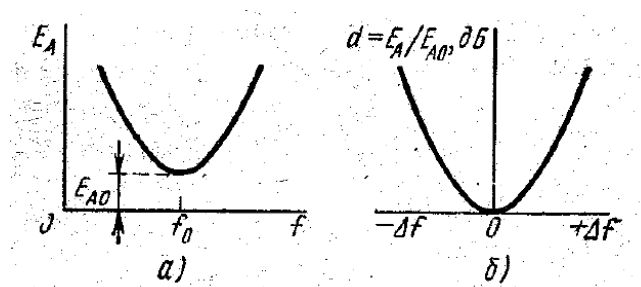


Рис. 1: Резонансная характеристика.

Избирательностью радиоприемника называется его способность выделять полезный сигнал из множества сигналов других радиостанций и помех, наводимых в антенне.

В радиоприемниках используется частотная избирательность. Избирательность оценивают по резонансной характеристике приемника.

Чем уже резонансная характеристика радиоприемника, тем выше его избирательность. Однако в связи с тем, что полезный сигнал всегда имеет некоторый спектр частот, чрезмерное сужение резонансной характеристики недопустимо. Поэтому для количественной оценки избирательности вводят понятие полосы пропускания приемника под которой понимают ширину полосы частот вблизи f_0 где ослабление изменяется в 2 раз (≈ 3 дБ). Для улучшения избирательности при заданной полосе пропускания приемника необходимо приближать форму его резонансной характеристики к прямоугольной.

Помехоустойчивостью радиоприемника называется его способность обеспечивать достоверный прием полезной информации при действии различных помех.

Качество воспроизведения сигналов зависит от величины искажений, вносимых различными элементами радиоприемника.

Диапазоном рабочих частот радиоприемника называется интервал частот, в пределах которого: 1) приемник может быть настроен на любую частоту; 2) его основные показатели (чувствительность, избирательность, помехоустойчивость и качество воспроизведения сигналов) во всем диапазоне удовлетворяют заданным нормам.

Чтобы принять другой радиосигнал, необходимо изменить настройку приемника, т. е. настройку его резонансных элементов.

Таким образом, для неискаженного приема сигнала и подавления указанных помех желательно, чтобы амплитудно- частотная характеристика приемника имела прямоугольную форму, а ее ширина равнялась полосе частот спектра сигнала (кривая А на Рис.2).

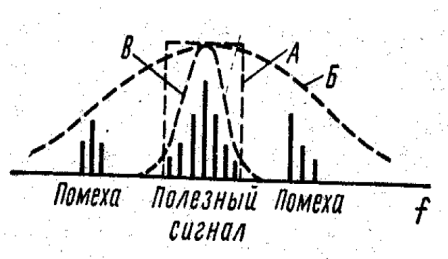


Рис. 2:

Требования к высокочастотному тракту радиоприемника:

1. усиление должно быть большим при слабых собственных шумах;
2. полоса пропускания должна соответствовать спектру сигнала;

3. форма амплитудно-частотной характеристики должна быть близка к прямоугольной;
4. при настройке на разные частоты диапазона величина коэффициента усиления, полоса пропускания приемника и форма его амплитудно-частотной характеристики не должны подвергаться значительным изменениям.

1.3 Приёмник прямого усиления

Входное устройство и усилители радиочастоты содержат резонансные элементы, настраиваемые на несущую частоту принимаемого сигнала. Название «приемник прямого усиления» подчеркивает ту особенность, что усиление и фильтрация до детектора происходит на частоте принятого радиосигнала.

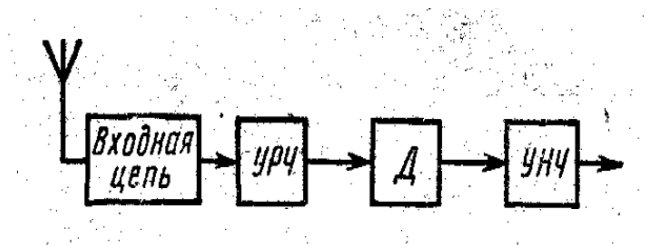


Рис. 3: Схема приёмника прямого усиления.

Принцип действия этой схемы наиболее прост, но имеет ряд недостатков. Для приема радиосигналов с разными несущими частотами нужно изменять настройку всех контуров высокочастотного тракта приемника. Возникающие при этом конструктивные трудности не позволяют использовать большое число контуров, а при малом числе их нельзя получить близкую к прямоугольной форму амплитудно-частотной характеристики приемника. Малое число контуров приводит к малому числу усилительных каскадов; поэтому часто не удается получить требуемое усиление до детектора.

Ширина резонансной кривой и резонансное сопротивление каждого контура меняются при настройке на разные частоты. Резонансное сопротивление влияет на коэффициент усиления того каскада, в который входит контур. В результате полоса пропускания, избирательность и усиление высокочастотного тракта сильно изменяются при настройке на разные частоты диапазона. В диапазонах наиболее высоких радиочастот, при использовании контуров с конструктивно осуществимыми потерями, полоса пропускания оказывается чрезмерно широкой, а усиление недостаточным даже при большом числе каскадов. Наконец, усилители высоких радиочастот имеют плохую устойчивость.

1.4 Супергетеродинный приёмник

В супергетеродинном приемнике несущая частота принимаемого радиосигнала преобразуется в постоянную для данного приемника промежуточную частоту, на которой производится основное усиление, фильтрация и детектирование сигнала (Рис.4.).

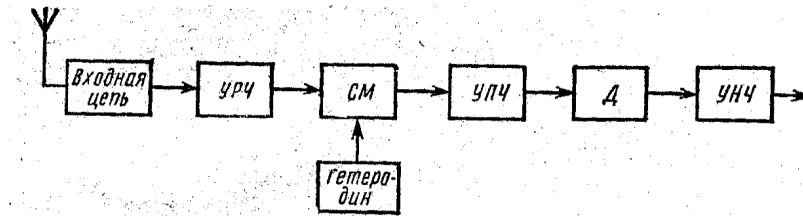


Рис. 4: Схема супергетеродинного приёмника.

Одним из основных элементов супергетеродинного приемника является усилитель промежуточной частоты УПЧ. Его контуры имеют фиксированную настройку на постоянную для данного приемника промежуточную частоту. Перед УПЧ включается преобразователь частоты, задача которого состоит в том, чтобы преобразовать частоту принимаемого радиосигнала в промежуточную без искажения модуляции, т. е. преобразовать радиосигнал в сигнал промежуточной частоты.

Путем рационального выбора величины промежуточной частоты можно создать наиболее выгодные условия работы УПЧ, т. е. получить высокое устойчивое усиление, нужную полосу пропускания и хорошую избирательность при небольшом числе каскадов. Из-за постоянства настройки контуров характеристики УПЧ не меняются при настройке приемника на разные частоты, а так как показатели всего приемника. определяются в основном характеристиками УПЧ, в супергетеродинном приемнике удастся получить высокую чувствительность и избирательность радиоприемника во всем диапазоне рабочих частот.

Недостатком супергетеродинных приемников является наличие дополнительных частот приема.

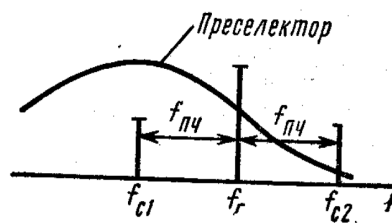


Рис. 5: Зеркальная частота.

Рассмотрим сначала зеркальную частоту приема. Так как промежуточная частота равна абсолютной разности между частотой сигнала и частотой гетеродина, приемник может

одновременно принимать радиосигналы с двумя разными несущими частотами, расположенными симметрично по отношению к частоте гетеродина, одна из них меньше частоты гетеродина на промежуточную частоту $f_{пч}$, а другая больше частоты гетеродина на ту же величину (Рис.5).

Чтобы устранить прием помехи зеркальной частоты, ее надо достаточно ослабить до преобразования. Это выполняют каскады, предшествующие преобразователю частоты, т. е. входные цепи и усилитель радиочастоты. Они содержат резонансные элементы, которые настраиваются на частоту желаемого радиосигнала, например f_{c1} и пропускают его к преобразователю. Вместе с тем они ослабляют сигнал зеркальной частоты f_{c2} , по отношению к которой эти контуры расстроены (см. Рис.5.).

При изменении частоты гетеродина соответственно меняются симметричные частоты приема, поэтому надо изменять также настройку резонансных элементов преселектора.

Ослабление зеркального приема в преселекторе тем лучше, чем уже резонансная кривая преселектора и чем дальше отстоит зеркальная частота от принимаемой. Разность между ними равна $2f_{пч}$. Поэтому ослабление зеркального приема улучшается при выборе более высокой промежуточной частоты $f_{пч}$ приемника. Однако увеличение $f_{пч}$ ограничивается рядом других причин, в частности нежелательным расширением полосы пропускания УПЧ при использовании резонансных контуров с конструктивно осуществимыми потерями.

Другим проявлением симметричного приема является двойственность настройки. При радиосигнале с частотой f_c , номинальную промежуточную частоту $f_{пч}$ можно получить при частотах гетеродина $f_{g1} = f_c - f_{пч}$ и $f_{g2} = f_c + f_{пч}$. Таким образом, один и тот же сигнал с частотой f_c , может быть принят при двух разных частотах гетеродина, т. е. в двух разных точках шкалы настройки приемника, причем эти частоты отстоят одна от другой на $2f_{пч}$. Как видно из Рис.5., применение преселектора ослабляет прием в одном из этих двух случаев, при достаточном ослаблении двойственность настройки исчезает.

1.5 Основные узлы радиоприёмников и их характеристики

Основными узлами радиоприемников являются входная цепь, усилитель радиочастоты, преобразователь частоты, усилитель промежуточной частоты, детектор и усилитель низкой частоты (УНЧ).

Входная цепь

Входной цепью называется часть схемы радиоприемника между точками подключения антенны и первого активного элемента приемника.

Входная цепь предназначена для эффективной передачи сигнала из антенны в первый каскад приемника и его предварительной избирательности по частоте. В общем случае входная цепь представляет собой пассивный четырехполюсник, состоящий из различного числа колебательных контуров, настроенных на фиксированные частоты или перестраиваемых в пределах рабочего диапазона частот приемника.

Усилители радиочастоты

Усилителями радиочастоты (УРЧ) называют каскады радиоприемников, в которых усиление сигнала происходит на несущей частоте. Усилитель радиочастоты включается непосредственно за входной цепью, а его выход подключается либо к детектору (в приемнике прямого усиления), либо к преобразователю частоты (в супергетеродинном приемнике).

Так как усилитель радиочастоты должен обладать частотно-избирательными свойствами, в качестве нагрузки в его каскадах применяются колебательные контуры, т. е. усилители радиочастоты являются резонансными усилителями.

Усилители радиочастоты осуществляют избирательное усиление слабого полезного сигнала и увеличивают чувствительность приемника за счет снижения его коэффициента шума. Основными электрическими характеристиками УРЧ являются резонансный коэффициент усиления, избирательность, коэффициент шума, искажения, вносимые усилителем, и устойчивость работы.

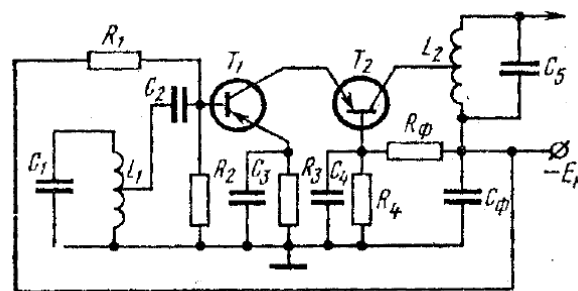


Рис. 6: Вариант УРЧ транзисторной каскадной схемы.

Резонансным коэффициентом усиления называется отношение амплитуды напряжения несущей частоты радиосигнала на выходе УРЧ ($U_{\text{вых}}$) к амплитуде напряжения несущей частоты радиосигнала на его входе ($U_{\text{вх}}$) при настройке контуров УРЧ в резонанс на несущую частоту:

$$K_o = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$

по мощности

$$K_o = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$$

Вариант транзисторной каскодной схемы показан на рис.6.

Преобразователь частоты

В супергетеродинных приемниках за усилителем радиочастоты следует преобразователь частоты, который преобразует переменную частоту входного радиосигнала в постоянную для данного приемника промежуточную частоту без изменения вида и характера модуляции.

Важным параметром преобразователей частоты являются собственные шумы, так как он представляет собой один из первых каскадов приемника и его шумы могут сильно влиять на общий коэффициент шума всего радиоприемника.

Усилитель промежуточной частоты

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) является одним из узлов супергетеродинного приемника, который обеспечивает основное усиление высокочастотных сигналов.

Усилители промежуточной частоты работают на фиксированной частоте и их основными схемами являются схемы полосовых усилителей. При этом частота настройки полосового усилителя может быть выбрана близкой к оптимальной для данного приемника.

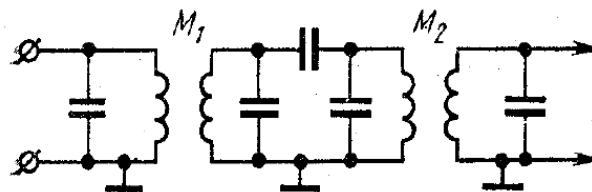


Рис. 7: Фильтр сосредоточенной селекции - одна из возможных схем УПЧ.

Детектор

Принятый сигнал, усиленный в высокочастотном тракте (в каскадах УРЧ приемника прямого усиления или в каскадах УРЧ и УПЧ супергетеродинного приемника), поступает на детектор. В детекторе происходит преобразование модулированного высокочастотного колебания в колебание низкой частоты, соответствующее изменениям подвергнутого модуляции параметра высокочастотного колебания. В зависимости от вида модуляции различают амплитудные, частотные, фазовые и импульсные детекторы.

В случае приема радиоимпульсов импульсный детектор должен преобразовывать их в видеоимпульсы, форма которых соответствует изменениям формы огибающей принимаемых радиоимпульсов. Если радиоимпульсы обладают модуляцией по амплитуде, длительности, частоте, фазе или образуют кодовые комбинации, то детектор должен преобразовывать их в последовательность видеоимпульсов, обладающих тем же видом модуляции или образующих такие же комбинации. Дальнейшее преобразование последовательности видеоимпульсов в сигнал низкой частоты производится специальным устройством и не входит в задачи детектора.

При детектировании амплитудно-модулированных сигналов наибольшее распространение получили диодные детекторы, характеристики которых оптимальны при «линейном» режиме детектирования.

Детектирование частотно-модулированных сигналов осуществляется с помощью частотных детекторов, наилучшим из которых является дискриминатор.

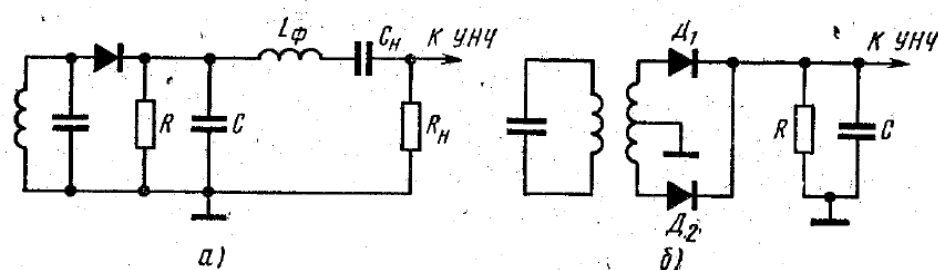


Рис. 8: Примеры схем детекторов.

Усилители низких частот (Усилитель звуковых частот - УЗЧ)

Низкочастотный сигнал на выходе детектора, как правило, имеет небольшую величину. Для приведения в действие оконечного устройства его необходимо усилить. Эту задачу решают с помощью усилителя низких частот (УНЧ), основной функцией которого является равномерное усиление всех спектральных составляющих низкочастотного сигнала. В простейшем случае им может быть RC-усилитель с числом каскадов, определяемым выходной мощностью радиоприемника. В более сложных случаях УНЧ являются многокаскадные усилители с широкой полосой пропускания, которая достигается за счет применения отрицательной обратной связи или схем частотной коррекции.

2 Схема экспериментальной установки

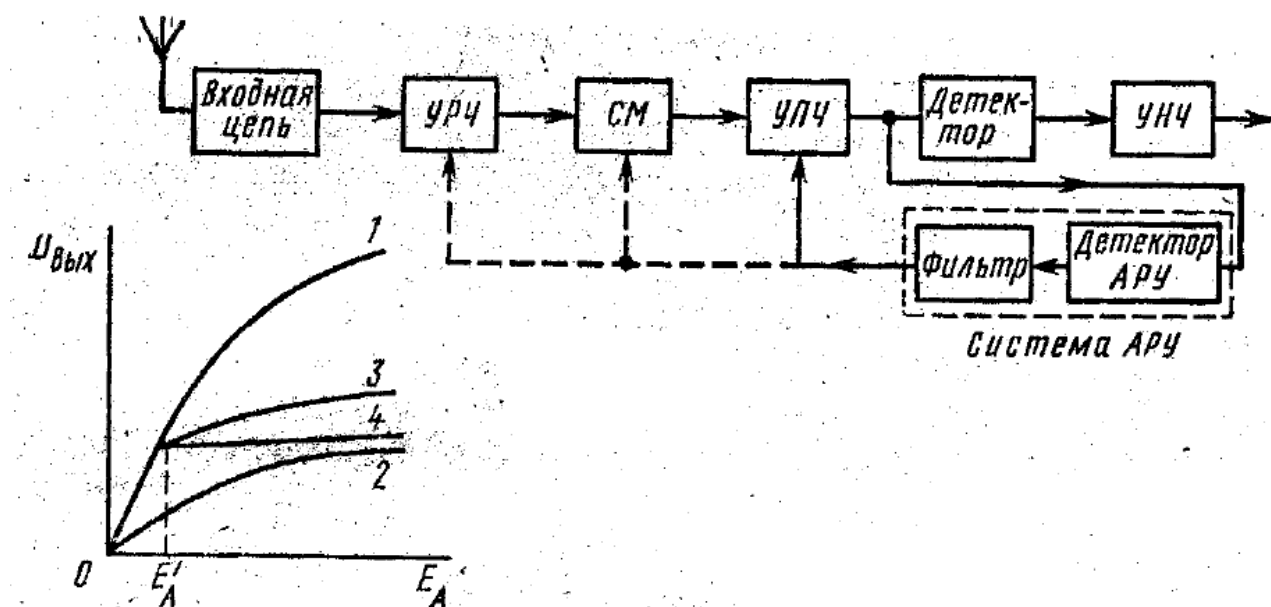


Рис. 9: Структурная схема супергетеродинного приемника амплитудно-модулированных колебаний.

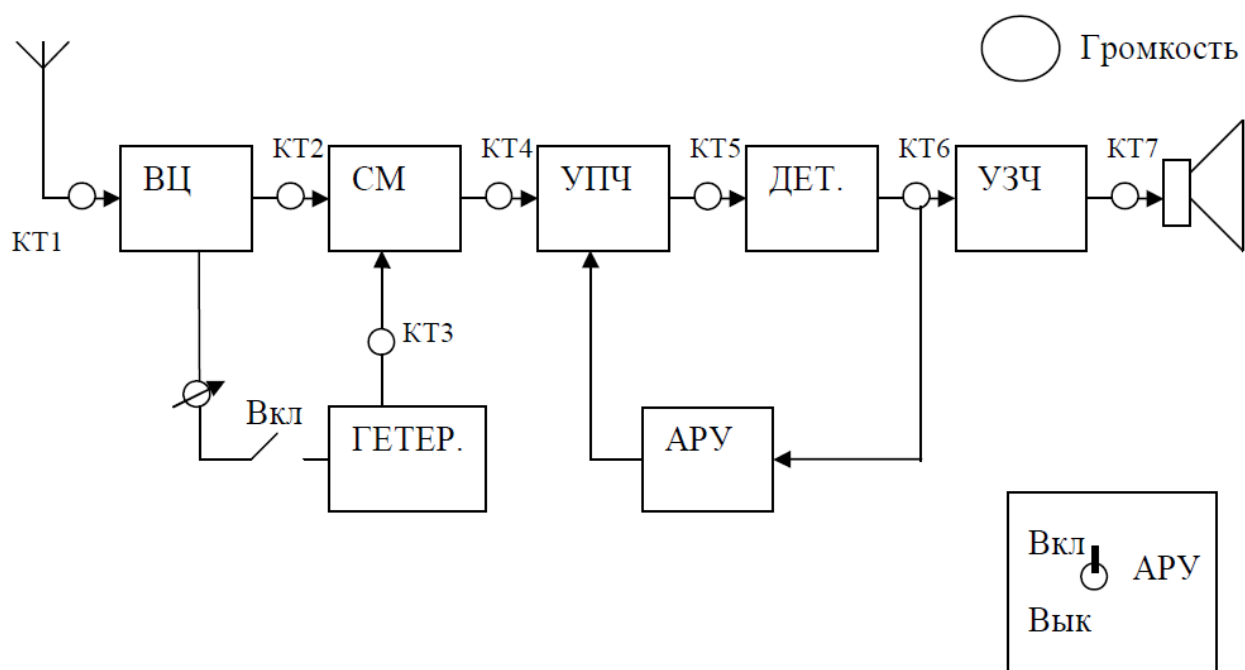


Рис. 10: Схема экспериментальной установки.

3 Практическая часть

3.1 Амплитудно-частотная характеристика усилителя звуковой частоты

Для снятия АЧХ УЗЧ отключили АРУ и Гетеродин. Согласно схеме на рис. 10 на точку КТ6 подали сигнал с генератора низких частот (ГНЧ). $U_{\text{ГНЧ}} = 1$ В Регулятор "Громкость" установили в положении при котором на частоте $f = 20$ Гц на выходе $U_{\text{вых}} \approx 0,015$ В.

Таблица результатов:

f , Гц	20	120	220	320	420	520	620	720	820	920
$U_{\text{вых}}$, В	0,015	0,515	1,086	1,544	1,887	2,17	2,35	2,48	2,57	2,62
f , Гц	1020	1120	1220	1320	1420	1520	1620	1720	1820	1920
$U_{\text{вых}}$, В	2,66	2,67	2,67	2,66	2,65	2,63	2,60	2,56	2,52	2,48
f , Гц	2020	2120	2220	2320	2420	2520	2620	2720	2820	2920
$U_{\text{вых}}$, В	2,44	2,40	2,35	2,31	2,26	2,22	2,17	2,13	2,08	2,04
f , Гц	3020	3120	3220	3320	3420	3520	3620	3720	3820	3920
$U_{\text{вых}}$, В	2,00	1,936	1,896	1,855	1,818	1,777	1,74	1,702	1,667	1,632
f , Гц	4020	4120	4220	4320	4420	4520	4620	4720	4820	4920
$U_{\text{вых}}$, В	1,598	1,564	1,533	1,502	1,469	1,438	1,408	1,38	1,354	1,326
f , Гц	5020	5120	5220	5320	5420	5520	5620	5720	5820	5920
$U_{\text{вых}}$, В	1,300	1,275	1,248	1,226	1,201	1,179	1,157	1,134	1,111	1,092
f , Гц	6020	6120	6220	6320	6420	6500				
$U_{\text{вых}}$, В	1,072	1,051	1,031	1,014	0,995	0,98				

Максимальный коэффициент передачи:

$$K_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}}{U_{\text{вх}}} \approx 2,67$$

Полосу пропускания УЗЧ определяли на уровне $\frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$:

$$f_{\text{min}} \approx 425 \text{ Гц}; \quad f_{\text{max}} \approx 3230 \text{ Гц}$$

$$\Rightarrow \Delta f = 2805 \text{ Гц}$$

График результатов представлен на рисунке ниже.

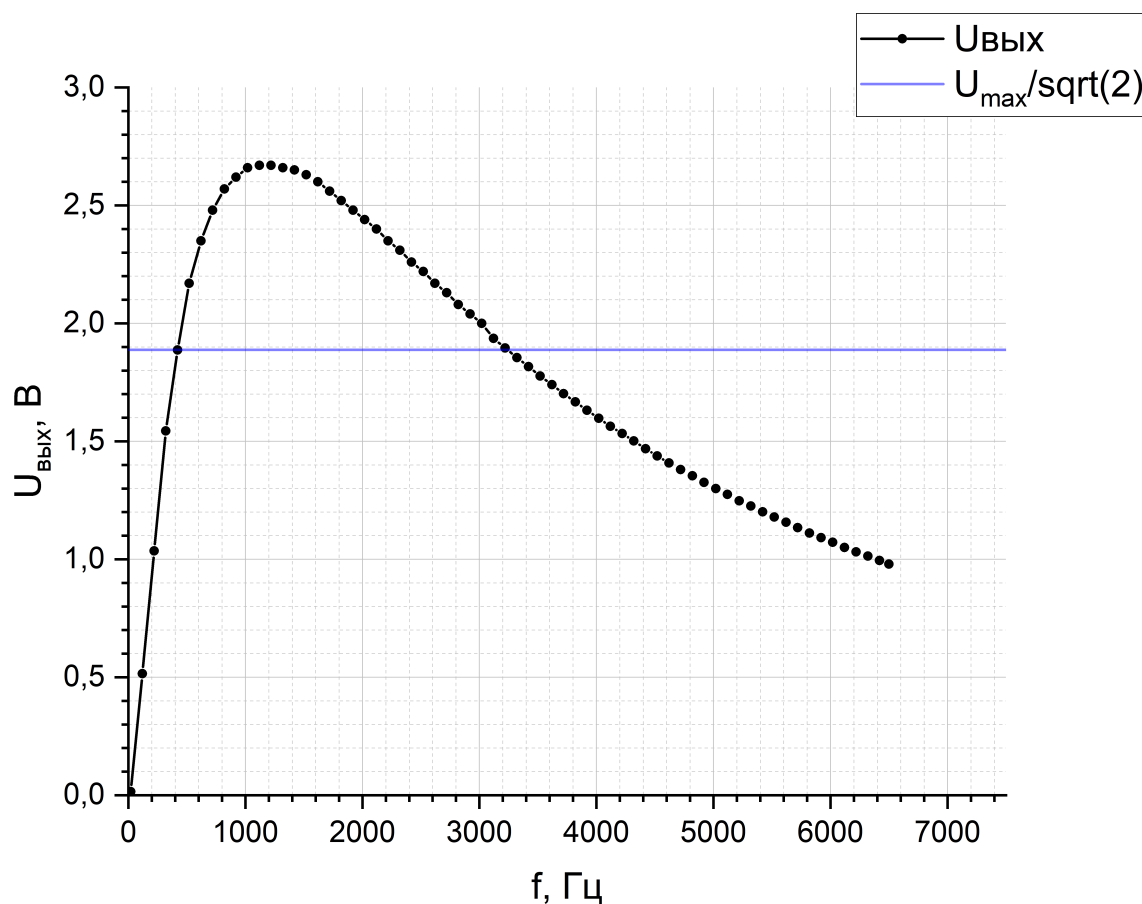


Рис. 11: Амплитудно-частотная характеристика УЗЧ.

3.2 Амплитудно-частотная характеристика усилителя промежуточной частоты

Для снятия АЧХ УПЧ выключили АРУ, а вместо ГНЧ подключили ГВЧ. На генераторе ВЧ установили уровень выходного сигнала соответствующий 0 дБ (по индикатору уровня ВЧ). Входное напряжение $U_{вх} = 0,08$ В.

f , кГц	445,18	446	447	448	449	450	451	452	453	454
$U_{ВЫХ}$, В	0	0,039	0,15	0,473	0,737	1,421	0,985	1,030	1,185	1,147
f , кГц	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464,58
$U_{ВЫХ}$, В	1,173	1,326	1,118	0,794	0,76	1,225	0,737	0,517	0,135	0,002
f , кГц	464,75									
$U_{ВЫХ}$, В	0									

Полученные результаты представлены на графике ниже:

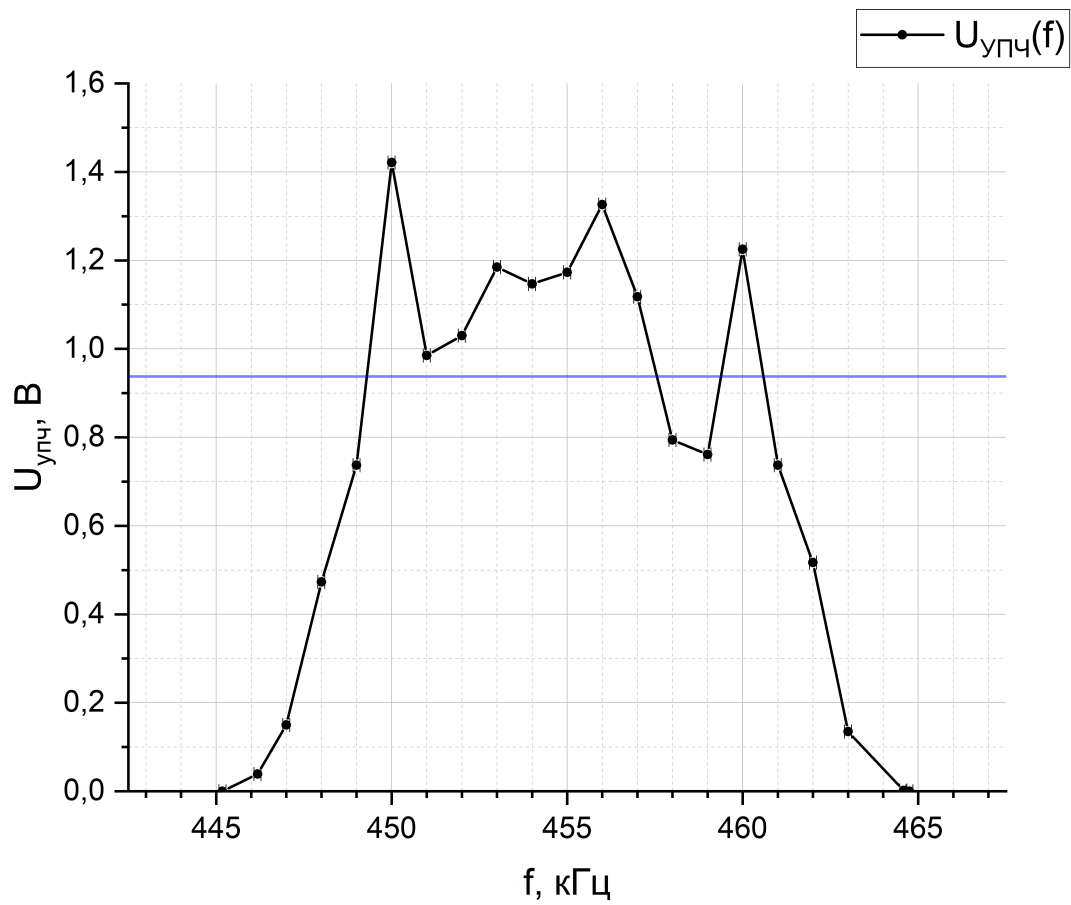


Рис. 12: Амплитудно-частотная характеристика УПЧ.

Коэффициенты усиления для всех трёх пиков напряжения на выходе:

$$K_{f=450} \approx 17,76; \quad K_{f=456} \approx 16,58; \quad K_{f=460} \approx 15,31$$

Полоса пропускания определялась аналогично с п.3.1. В качестве максимального значения рассматривался средний пик.

$$f_{min} \approx 449 \text{ кГц}; \quad f_{max} \approx 461 \text{ кГц}$$

$$\Rightarrow \Delta f = 12 \text{ кГц}$$

Изменение коэффициента усиления ΔK_y :

$$\Delta K_y = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{вх}} \approx \frac{1,421 - 0,761}{0,08} \approx 8,25$$

3.3 Детекторная характеристика

Для снятия детекторной характеристики на вход УПЧ подали амплитудно-модулированное колебание с генератора ВЧ ($f_{ВЧ} = 455$ кГц, $U_{ВЧ} = 0,08$ В). С помощью генератора НЧ осуществлялась внутренняя модуляция ($f_{НЧ} = 1000$ Гц). Снимали напряжение с помощью вольтметра, подключенного к КТ6 (см. рис.10). В итоге сняли зависимость выходного напряжения детектора от амплитуды модулирующего колебания.

$U_{ВЧ}$, мВ	10	20	30
$U_{ВЧ_дет}$, В АРУ выкл.	0,007	0,015	0,027
$U_{ВЧ_дет}$, В АРУ вкл.	0,088	0,213	0,310

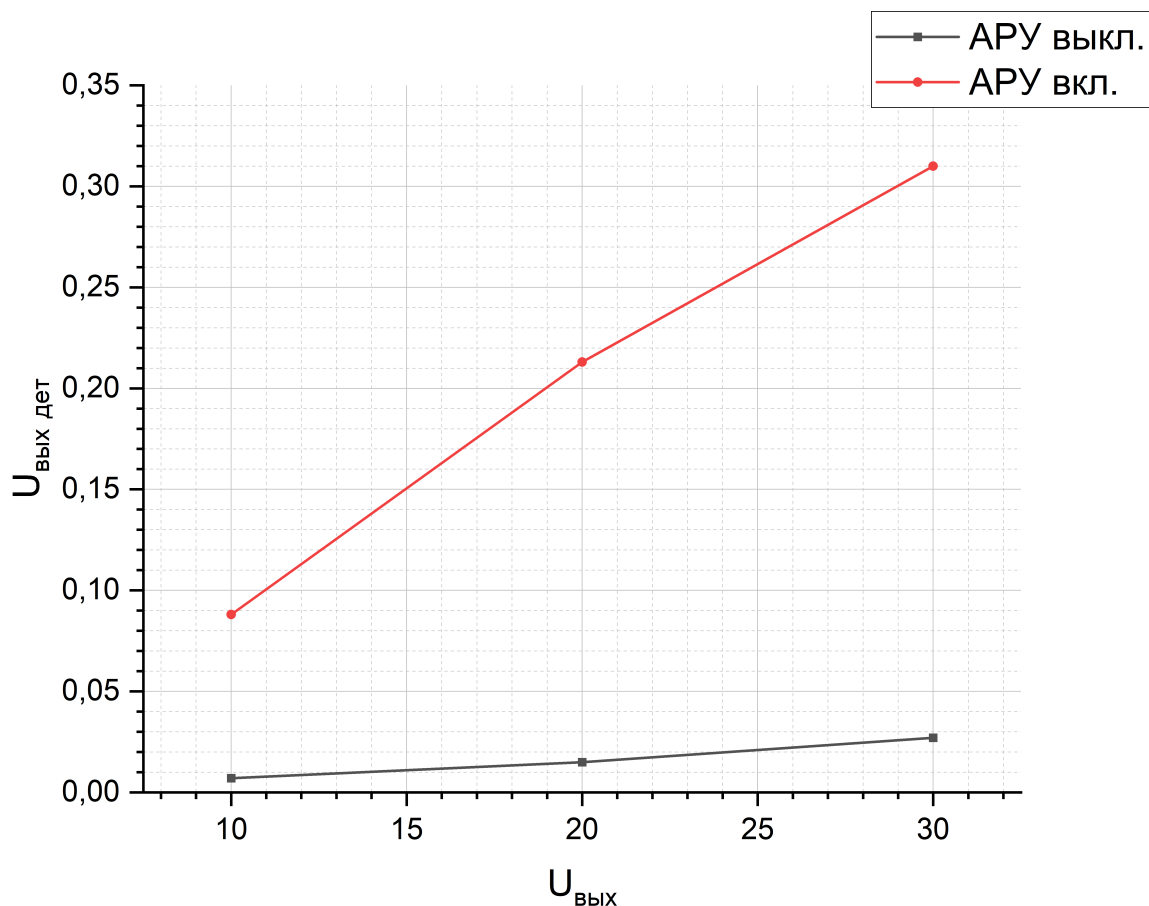


Рис. 13: Детекторная характеристика.

3.4 Частота гетеродина

К контрольной точке КТЗ подключили частотомер. Изменяя частоту гетеродина определяли границы пропускания:

$$f_{\Gamma}^{\text{лев}} = 1027,69 \text{ кГц}; \quad f_{\Gamma}^{\text{прав}} = 1483,40 \text{ кГц}$$

3.5 Амплитудно-частотная характеристика приёмника

Для снятия АЧХ приёмника АРУ включили и с генератора ВЧ подали сигнал на контрольную точку КТ1. К КТЗ был подключен частотомер для измерения частоты гетеродина. Включили ГНЧ на частоте $f_{\text{НЧ}} = 1000 \text{ Гц}$ и с $U_{\text{вых}} = 1 \text{ В}$. Частота ГВЧ $f_{\text{ВЧ}} = 750 \text{ кГц}$.

Установили частоту гетеродина $f_{\Gamma} = 1205 \text{ кГц}$.

Увеличение частоты		Уменьшение частоты	
$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{вых}}, \text{ мВ}$	$f, \text{ кГц}$	$U_{\text{вых}}, \text{ мВ}$
1205	235	1195	25
1206	208	1196	151
1207	209	1197	454
1208	245	1198	140
1209	250	1199	337
1210	151	1200	182
1211	253	1201	250
1212	105	1202	241
1213	110	1203	216
1214	55	1204	238
1215	26	1205	235

Стоит заметить, что при увеличении или уменьшении частоты гетеродина сложно было установить нужную частоту. Регулятор изменял частоту слишком резко, поэтому относиться к полученным результатам нужно лишь как к приближенным. Ошибка установки частоты $\Delta f \approx 1 \text{ кГц}$.

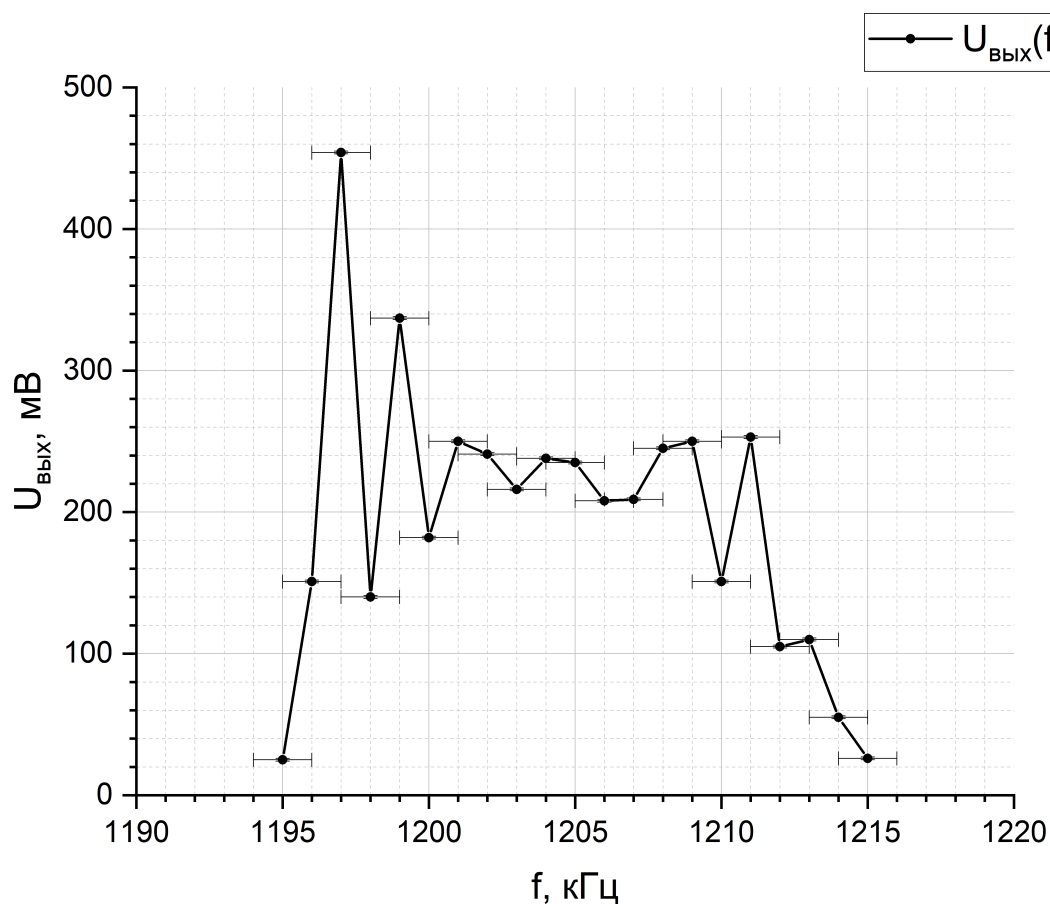


Рис. 14: Амплитудно-частотная характеристика приёмника.

3.6 Амплитудно-частотная характеристика входной цепи

Для снятия АЧХ входной цепи выход с генератора ВЧ подключили ко входу приёмника (КТ1). С КТ2 снимали выходное напряжение входной цепи. Получили следующие результаты:

f , кГц	710	720	730	740	750	760	770	780
$U_{\text{ВЫХ}}$, В	0	0,002	0,006	0,013	0,028	0,032	0,022	0,012
f , кГц	790	800	810	820	830			
$U_{\text{ВЫХ}}$, В	0,005	0,002	0	0	0			

Как и для других элементов, можно определить полосу пропускания для входной цепи:

$$\Delta f \approx 25 \text{ кГц}$$

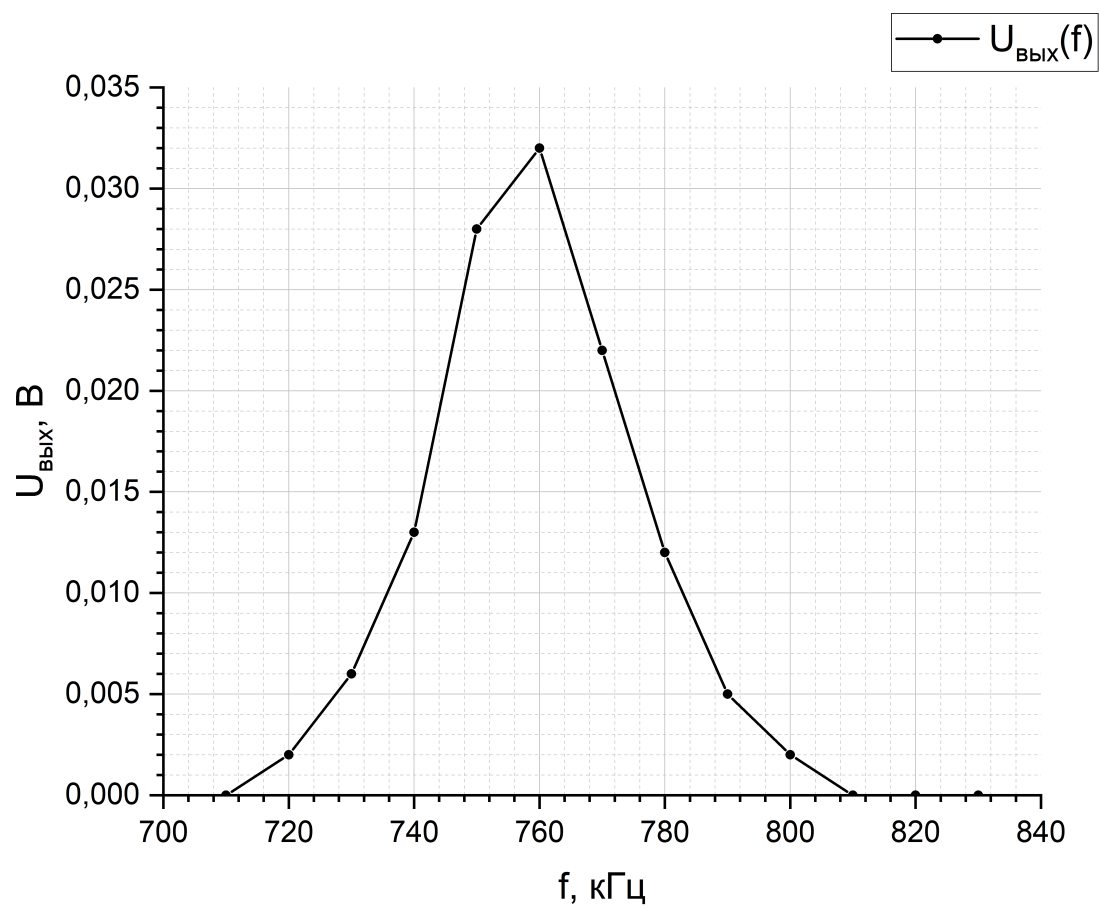


Рис. 15: Амплитудно-частотная характеристика входной цепи.

4 Вывод

Выполнив лабораторную работу, мы:

1) Изучили принцип работы супергетеродинного приёмника и познакомились с его основными элементами.

2) Сняли амплитудно-частотную характеристику усилителя звуковой частоты и определили его полосу пропускания:

$$\Delta f = 2805 \text{ Гц}$$

Максимальный коэффициент передачи составил:

$$K_{max} \approx 2,67$$

3) Сняли амплитудно-частотную характеристику усилителя промежуточной частоты и рассчитали аналогичные параметры:

$$\Delta f = 23 \text{ кГц}$$

Коэффициенты усиления для трёх пиков напряжения:

$$K_{f=450} \approx 17,76; \quad K_{f=456} \approx 16,58; \quad K_{f=460} \approx 15,31$$

Изменение коэффициента усиления ΔK_y :

$$\Delta K_y = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{вх}} \approx \frac{1,421 - 0,761}{0,08} \approx 8,25$$

4) Сняли детекторную характеристику с включенным и выключенным АРУ (автоматической регулировкой усиления). По рис.13 видно, что с включенным АРУ напряжение на выходе детектора существенно выше. Это отражает саму суть использования АРУ - применяют для получения большего постоянства напряжения сигнала на выходе приёмника.

5) Определили границы частот гетеродина:

$$f_{\Gamma}^{\text{лев}} = 1027,69 \text{ кГц}; \quad f_{\Gamma}^{\text{прав}} = 1483,40 \text{ кГц}$$

6) Сняли амплитудно-частотную характеристику приёмника (см. рис.14). Однако точные значения частот получить не удалось из-за высокой чувствительности регулятора, поэтому можно говорить только о приближенных значениях.

7) Сняли амплитудно-частотную характеристику приёмника входной цепи и определили для неё полосу пропускания:

$$\Delta f \approx 25 \text{ кГц}$$