

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

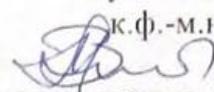
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мещеряков

« 29 » января 2023 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

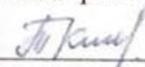
РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ»

по основной образовательной программе подготовки специалиста  
по специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Арюткин Кирилл Сергеевич

Руководитель ВКР

канд. физ.-мат. наук, доцент



Т.Д. Кочеткова

« 23 » января 2023 г.

Автор работы

студент группы № 778



К.С. Арюткин

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель ООП  
к.ф.-м.н., доцент



В.А. Мешеряков

« 20 » декабря 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**

на подготовку ВКР специалиста  
студенту 778 группы Арюткину Кириллу Сергеевичу

1. Тема ВКР: Разработка лабораторной работы «Исследование автоматической подстройки частоты»

2. Срок сдачи студентом выполненной ВКР:

- а) на кафедре 20.01.2023,  
б) в ГЭК 01.02.2023.

3. Краткое содержание работы:

Работа направлена на разработку учебно-методического комплекса по теме «Исследование автоматической подстройки частоты». Включает виртуальное моделирование, схемотехническое решение и написание методических материалов к работе.

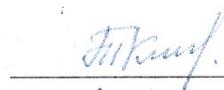
4. Календарный график выполнения ВКР:

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| а) изучение литературы   | 22.12.2022 – 28.12.2022 |
| б) разработка схемы, моделирование работы схемы  | 24.12.2022 – 28.12.2022 |
| в) изготовление макета и документации, исследование режимов работы, анализ результатов | 24.12.2023 – 16.01-2023 |
| г) написание ВКР и сдача в ГЭК   | 12.01.2023 – 01.02-2023 |
| д) размещение текста ВКР в электронной библиотеке ТГУ                                  | 26.01.2023 – 29.01.2023 |

5. Дата выдачи задания «20» декабря 2022 г.

Руководитель ВКР –  
канд. физ.-мат. наук,  
доцент кафедры радиоэлектроники

Задание принял к исполнению


Т.Д. Кочеткова

К.С. Арюткин

## АННОТАЦИЯ

Отчет о дипломной работе 5 глав, 55 страницы, 38 рисунков, 12 источников, 6 таблиц.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ, MULTISIM, МОДЕЛИРОВАНИЕ, УСИЛИТЕЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ, УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА, ЧАСТОТНЫЙ ДИСКРИМИНАТОР, ГЕТЕРОДИН, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ.

Цель работы – разработка лабораторной работы по теме «Автоматическая подстройка частоты». Включает виртуальное моделирование, схемотехническое решение и написание методических материалов к работе.

В результате работы:

- а) проведён обзор литературы;
- б) обоснован выбор структурной схемы;
- в) проведено моделирование в среде Multisim;
- г) разработаны печатные платы и изготовлены отдельные узлы;
- д) проведено тестирование отдельных узлов;
- е) разработаны методические указания.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 Литературный обзор .....	5
1.1 Автоматическая подстройка частоты .....	5
1.2 Система фазовой автоподстройки частоты.....	5
1.3 Система автоматической подстройки частоты.....	8
1.4 Работа частотной автоматической подстройки гетеродина.....	11
1.5 Сферы применения .....	14
2 Структурная схема .....	16
2.1 Основные элементы .....	17
2.1.1 Усилитель промежуточной частоты .....	17
2.1.2 Частотный дискриминатор.....	18
2.1.3 Фильтр низких частот.....	18
2.1.4 Генератор .....	20
2.1.5 Смеситель .....	21
3 Практическая часть .....	24
3.1 Моделирование преобразователя частоты и гетеродина.....	24
3.2 Моделирование УПЧ, ЧД, УПТ и гетеродина .....	27
3.3 Создание печатных плат.....	29
4 Методические указания к лабораторной работе.....	35
5 Обеспечение охраны труда .....	38
Заключение .....	45
Список использованных источников .....	46
Приложение А Печатная плата усилителя постоянного тока .....	48
Приложение Б Печатная плата усилителя промежуточной частоты.....	49
Приложение В Сборочный чертёж усилителя промежуточной частоты.....	50
Приложение Г Сборочный чертёж усилителя постоянного тока .....	51
Приложение Д Электрическая схема усилителя промежуточной частоты ...	52
Приложение Е Электрическая схема усилителя постоянного тока.....	53
Приложение Ж Перечень элементов усилителя постоянного тока .....	54
Приложение И Перечень элементов усилителя промежуточной частоты.....	55

## ВВЕДЕНИЕ

В современных радиотехнических устройствах различного назначения и системах радиоуправления широко применяются автоматические системы, которые называют системами радиоавтоматики (РА). К ним относятся устройства фазовой и частотной автоподстройки частоты, автоматической регулировки усиления, системы измерения координат движущихся объектов, измерители дальности, различные следящие фильтры и другие.

Выделение систем РА в самостоятельный класс обусловлено их особенностями, связанными с условиями работы в составе радиотехнических устройств и систем радиоуправления, в которых осуществляется обработка параметров радиосигнала при действии различного вида помех.

Надежность и качество работы систем РА во многом определяют характеристики радиоаппаратуры и систем радиоуправления [1].

Системы автоподстройки частоты применяются в разнообразных по назначению устройствах, поэтому изучение принципов работы таких систем представляется необходимой и актуальной задачей при обучении инженеров в области радиоэлектроники и радиотехники. Кроме того, актуальность курсовой работы заключается в её востребованности в учебном процессе на РФФ ТГУ в курсах «Устройства приема и обработки сигналов» и «Радиоавтоматика».

Целью курсовой работы является создание модели узла частотной автоподстройки частоты (ЧАПЧ) в среде MultiSim для реализации лабораторной работы.

Задачами курсовой работы являются:

- а) изучить теорию авторегулирования в радиотехнике,
- б) провести поиск примеров применения ЧАПЧ,
- в) разработать схему лабораторного макета,
- г) провести моделирование в среде Multisim,
- д) разработать методические указания к лабораторной работе.

## **1 Литературный обзор**

### **1.1 Автоматическая подстройка частоты**

Автоматическая подстройка частоты (АПЧ) должна непрерывно обеспечивать оптимальное расположение спектра принимаемого сигнала в полосе пропускания приемника при вызываемых различными причинами изменениях частоты передатчика и настройки цепей приемника.

Системы АПЧ можно разделить на два класса в зависимости от признака, на основании которого вырабатывается сигнал ошибки настройки частоты, необходимый для подстройки. Если этим признаком является отклонение частоты сигнала от переходной частоты какой-либо цепи, то говорят о частотной системе АПЧ (ЧАПЧ). Строится на базе частотного детектора. Если признаком отклонения частот для системы АПЧ является отличие фазы колебаний входящего сигнала от фазы опорного колебания, то говорят о фазовой системе (ФАПЧ). Строится на базе фазового детектора [2].

Системы автоматической подстройки частоты применяются для стабилизации частоты генерируемых колебаний, слежения за частотой сигнала в радиоприёмных устройствах, в демодуляторах частотно-модулированных колебаний с обратной связью по частоте и др.

### **1.2 Система фазовой автоподстройки частоты**

Системы фазовой автоподстройки частоты применяются в радиоприёмных устройствах, перестраиваемых по частоте генераторов высокостабильных колебаний и других устройств.

Функциональная схема системы ФАПЧ предназначена для стабилизации частоты подстраиваемого генератора по сигналу высокостабильного эталонного генератора (рисунок 1). Объектом управления в системе ФАПЧ является перестраиваемый генератор (ПГ), частота колебаний (или фаза) напряжения которого изменяется в зависимости от напряжения, вырабатываемого управляющим элементом, при этом напряжение ПГ остаётся неизменным. Частота сигнала ПГ является

выходным сигналом системы ФАПЧ, на которую действует напряжение от эталонного генератора (ЭГ) с частотой  $\omega_э$ . Этот сигнал является управляющим воздействием. Измерителем рассогласования является фазовый детектор (ФД), выходной сигнал которого является нелинейной периодической функцией разности фаз сигналов, подаваемых от ЭГ и ПГ. Сигнал с ФД через ФНЧ подаётся на управляемый элемент (УЭ), который перестраивает частоту ПГ, приближая ее к частоте ЭГ. В установившемся режиме в системе устанавливается постоянная разность фаз между напряжениями  $u_э$  и  $u_г$ , при этом напряжение на выходе ФД также будет постоянным, в результате чего частота сигнала с ПГ окажется равной частоте сигнала ЭГ.

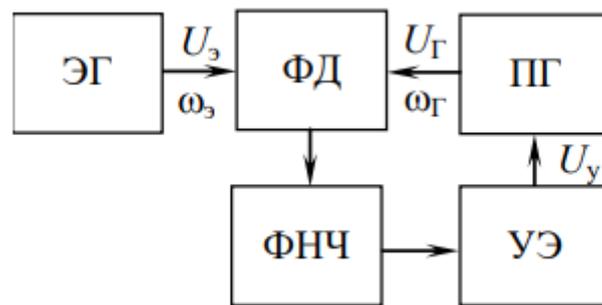


Рисунок 1 – Функциональная схема системы ФАПЧ [5]

Начальное рассогласование от ЭГ и ПГ определяется как:

$$\omega_H = \omega_э - \omega_{гH}, \quad (1)$$

где  $\omega_{гH}$  – начальная частота сигнала ПГ.

После включения системы ФАПЧ частота сигнала ПГ будет описываться выражением:

$$\omega_г = \omega_{гH} - \omega_{гУ}, \quad (2)$$

Частотная составляющая  $\omega_{\Gamma y}$  возникает из-за перестройки частоты ПГ и определяется выражением:

$$\omega_{\Gamma y} = k_{\Gamma} * k_{y\text{Э}} * u_{\text{ФД}} = k_{\Gamma} * k_{y\text{Э}} * F(\varphi), \quad (3)$$

где  $k_{\Gamma}$  – коэффициент передачи ПГ по частоте;

$k_{y\text{Э}}$  – коэффициент передачи УЭ;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент передачи ФД, равным максимальному напряжению на выходе ФД;

$\varphi$  – разность фаз напряжений ЭГ и ПГ;

$F(\varphi)$  – дискриминационная характеристика.

Важным параметром систем ФАПЧ является величина полосы захвата. Под полосой захвата понимается диапазон первоначальных расстроек между частотами сигнала и подстраиваемого генератора, в пределах которого обеспечивается переход к режиму слежения за частотой.

Для оценки максимально допустимого рассогласования используется полоса удержания, определяемая выражением:

$$\omega_{\text{уд}} = k_{\Gamma} * k_{y\text{Э}} * k_{\text{д}}, \quad (4)$$

результат имеет размерность круговой частоты. С учётом (3) и (4) частота ПГ может быть определена по следующей формуле:

$$\omega_{\Gamma} = \omega_{\text{ГН}} + \omega_{\text{уд}} * F(\varphi). \quad (5)$$

Разность фаз сигналов ЭГ и ПГ определяется выражением:

$$\varphi = \varphi_0 + \int_0^t (\omega_{\text{Э}} - \omega_{\Gamma}) dt. \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что производная

$$\dot{\varphi} = \omega_{\text{Э}} - \omega_{\text{Г}}. \quad (7)$$

Уравнение (7) является основным дифференциальным уравнением системы ФАПЧ, показывающим, что в любой момент времени алгебраическая сумма разности частот  $\omega_{\text{Э}} - \omega_{\text{Г}}$  и расстройки является постоянной величиной, равной начальному рассогласованию частот сигналов ЭГ и ПГ. Отличие структурной схемы системы ФАПЧ, приведённой на рисунке (рисунок 2), от системы АПЧ (рисунок 5) состоит в наличии в системе ФАПЧ интегрирующего звена  $\int$ , с передаточной функцией  $W = 1/p$ , производящего математическую операцию интегрирования в соответствии с формулой (6). Интегрирующее звено и возмущающее воздействие  $n(t)$  учитывают влияние на качество работы системы флуктуационной составляющей напряжения, а воздействие  $\delta\omega_{\text{Г}}$  – влияние неустойчивости частоты ПГ [5].

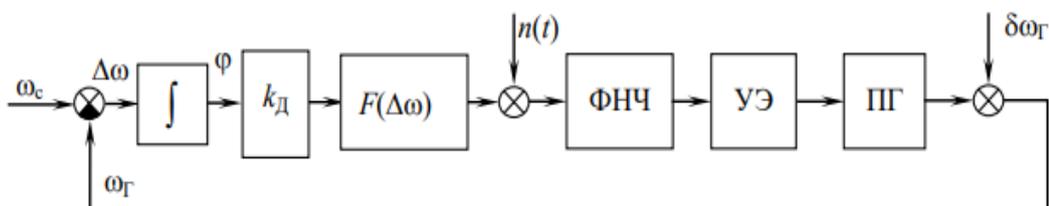


Рисунок 2 – Структурная схема системы ФАПЧ [5]

### 1.3 Система автоматической подстройки частоты

Системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) применяются для стабилизации частоты генерируемых колебаний, слежения за частотой сигнала в радиоприёмных устройствах, в демодуляторах частотно-модулированных колебаний с обратной связью по частоте и др.

Функциональная схема АПЧ супергетеродинного приёмника (рисунок 3) содержит в своём составе смеситель, усилитель промежуточной частоты, частотный дискриминатор, фильтр низкой частоты и управитель гетеродина. Входной сигнал  $U_c(t)$  с частотой  $\omega_c$  преобразуется в смесителе в напряжение промежуточной частоты  $\omega_{пр}$ , затем усиливается усилителем промежуточной частоты и подаётся на частотный дискриминатор (ЧД). Если промежуточная частота  $\omega_{пр}$  отличается на  $\omega$  от ее номинального значения  $\omega_{пр0}$ , то на выходе ЧД возникает напряжение, значение и знак которого зависят от значения и знака отклонения промежуточной частоты  $\omega$ . Напряжение с ЧД  $U_{чд}$  через ФНЧ подаётся на гетеродин, частота которого перестраивается, обеспечивая минимальное рассогласование значения  $\omega_{пр}$  от номинальной частоты  $\omega_{пр0}$ . Отклонение промежуточной частоты сигнала  $\omega_{пр}$  от номинального значения:

$$\omega = \omega_{пр} - \omega_{пр0} = \omega_c - \omega_{г}, \quad (8)$$

где  $\omega_{пр} = \omega_c - \omega_{г}$ ,

$\omega_c = \omega_{c0} + \omega_c$ , – частота входного сигнала;

$\omega_{г} = \omega_{г0} + \omega_{г}$  – частота гетеродина;

$\omega_c$ ,  $\omega_{г}$  – отклонение частот входного сигнала и гетеродина от номинальных значений  $\omega_{c0}$ ,  $\omega_{г0}$ .

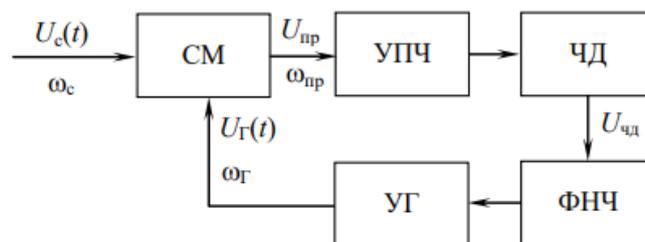


Рисунок 3 – Функциональная схема системы автоматической подстройки частоты [5]

Напряжение на выходе ЧД является функцией отклонения промежуточной частоты от номинального значения, определяется выражением:

$$u_{\text{чд}} = F(\omega). \quad (9)$$

Зависимость  $F(\Delta\omega)$  называют дискриминационной характеристикой (рисунок 4). При малых значениях  $\Delta\omega$  дискриминационная характеристика линейна, и выражение (9) принимает вид:

$$u_{\text{чд}} = k_{\text{чд}}\omega, \quad (10)$$

где  $k_{\text{чд}}$  – коэффициент передачи ЧД (крутизна дискриминационной характеристики).

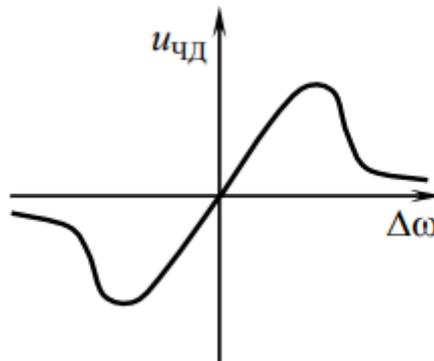


Рисунок 4 – Дискриминационная характеристика частотного детектора [5]

Под действием напряжения, снимаемого с фильтра  $U_{\text{ф}} = K_{\text{ф}}U_{\text{чд}}$ ,  $K_{\text{ф}}$  – коэффициент передачи ФНЧ, частота гетеродина переставляется на

$$\omega_{\Gamma} = K_{\Gamma} u_{\Phi}, \quad (11)$$

где  $K_{\Gamma}$  – коэффициент передачи управителя гетеродина (УГ).

Из выражений (8), (10) и (11) следует, что ошибка регулирования промежуточной частоты в системе АПЧ может быть определена по выражению:

$$\omega = \frac{1}{1+K} \omega_c, \quad (12)$$

где  $K = K_{\text{чд}} K_{\Phi} K_{\Gamma}$  – коэффициент передачи системы АПЧ.

Уравнениям (8)–(12) соответствует структурная схема, представленная на рисунке (рисунок 4) [5].

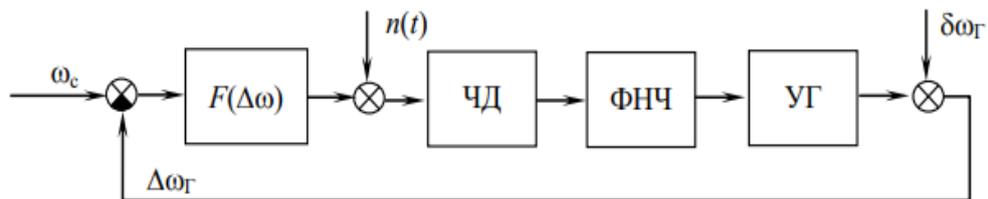


Рисунок 5 – Структурная схема системы АПЧ [5]

#### 1.4 Работа частотной автоматической подстройки гетеродина

На рисунке 6 показаны графики регулировочных характеристик в режимах расстройки и настройки. При работающей системе АПЧ по мере изменения расстройки  $\Delta f_{\text{гн}}$  изменяется  $\Delta f_{\text{пр.н}}$  по линиям  $0a$  и  $0b$ . При этом изменение преобразованной частоты  $\Delta f_{\text{пр.ост}}$  в КАПЧ меньше, чем вызвавшее ее изменение частоты гетеродина или сигнала  $\Delta f_{\text{пр.н}}$ . Так продолжается до точки  $a$  в положительной или до точки  $b$  в отрицательной области изменения преобразованной частоты  $\Delta f_{\text{пр.н}}$ . Далее характеристика переходит на неустойчивые участки  $a_m$  или  $b_n$ , показанные пунктирными линиями.

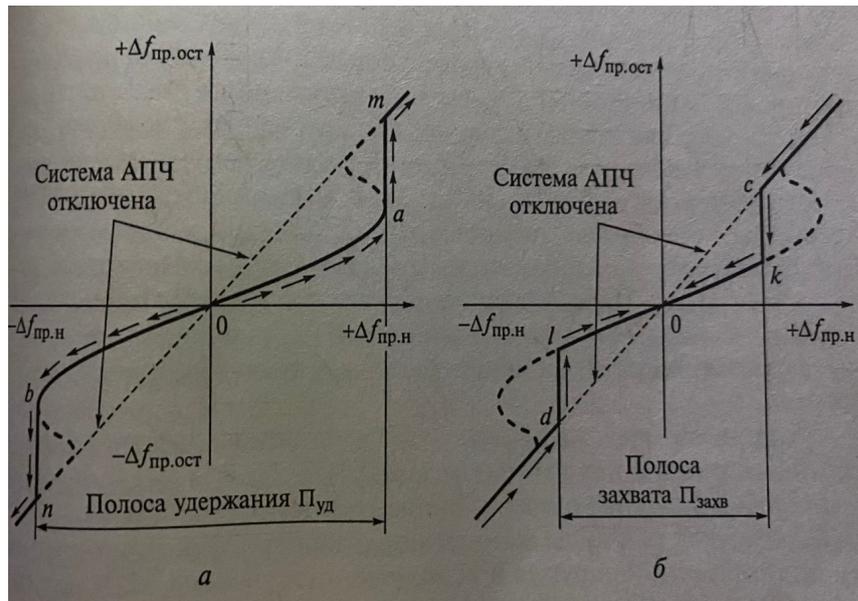


Рисунок 6 – Графики регулировочных характеристик АПЧ в режимах расстройки (а) и настройки (б)

Увеличение расстройки  $\Delta f_{\text{пр.н}}$  за пределы участка  $ab$  соответствует выходу ее за пределы рабочего участка характеристики ЧД  $\Delta f_{\text{пр.н}} > П_{\text{чд}}$ . Такое увеличение  $\Delta f_{\text{пр.н}}$  ведет к уменьшению подстройки гетеродина. Вследствие этого увеличивается отклонение частоты гетеродина от номинального значения и происходит дальнейшее увеличение отклонения промежуточной частоты  $\Delta f_{\text{пр.ост}}$ , что ведет к еще более значительному уменьшению  $U_{\text{чд}}$  и т.д. В результате частота  $\Delta f_{\text{пр.н}}$  выходит за пределы пропускания УПЧ и напряжение от ЧД падает практически до нуля. Устройство скачкообразно переходит в новое состояние, приводя к срыву работы системы АПЧ и к переходу из точки  $a$  в точку  $m$  или из точки  $b$  в точку  $n$ . Преобразованная частота  $\Delta f_{\text{пр.ост}}$  при этом принимает значение, которое она имела бы при отсутствии автоподстройки, т.е. отстоящее от номинального значения на величину начальной расстройки  $\Delta f_{\text{пр.ост}} = \Delta f_{\text{Гн}}$ .

Предположим, что начальная расстройка  $\Delta f_{\text{Гн}} = \Delta f_{\text{пр.н}}$  такова, что точка  $m$  находится правее точки  $c$  (см. рисунок 6, б). В этом случае преобразованная частота находится далеко за пределами линейного участка характеристики ЧД.

Пусть производится настройка приемника на частоту нужной радиостанции. При этом преобразованная частота  $\Delta f_{\text{пр.н}}$  будет уменьшаться, приближаясь к номинальному значению  $f_{\text{пр0}}$ . Так будет продолжаться до тех пор, пока частота сигнала не окажется внутри полосы пропускания УПЧ и на выходе ЧД не появится напряжение (точка *c* на рисунке. 6, б). Это напряжение начнет подстраивать гетеродин, что приведет к приближению  $f_{\text{пр}}$  к номинальному значению, что в свою очередь вызовет увеличение напряжения УЧД и уменьшит расстройку гетеродина, т.е. продолжит процесс захвата частоты. Система скачком перейдет из неустойчивой точки *c* на устойчивый участок характеристики. Аналогично происходит процесс при начальной расстройке приемника левее точки *n*.

На рисунке 5 видны характерные области частот, свойственные приемнику с системой АПЧ. Полосой удержания Пуд называется полоса расстроек между точками *a* и *b*, в которой система АПЧ удерживает преобразованную частоту  $f_{\text{пр}}$  близкой к промежуточной  $f_{\text{пр0}}$ . Полоса расстроек между точками *c* и *d* называется полосой захвата  $P_{\text{захв}}$ . При попадании сигнала в эту полосу происходит «захват» частоты приемника системой АПЧ, после чего настройка сохраняется при отклонении частоты в пределах полосы удержания. Ширина области удержания (как и ширина области захвата) пропорциональна полосе пропускания ЧД  $P_{\text{уд}} \approx P_{\text{чд}} (1 + K_{\text{АПЧ}})$  и тем больше, чем больше коэффициент автоподстройки  $K_{\text{АПЧ}}$ .

Следует иметь в виду, что при попытке перестроить приемник с одной станции на другую при включенной системе АПЧ возникают затруднения, так как АПЧ сохраняет настройку на несущую частоту первой станции в пределах всей полосы удержания.

Как следствие этого, ряд близко расположенных станций будет пропущен. Для исключения этого эффекта при перестройке приемника следует отключать АПЧ.

## 1.5 Сферы применения

Системы АПЧ очень широко применяются в современной электронике:

- демодуляции АМ и ЧМ сигналов;
- декодирования тональных сигналов;
- стабилизации и управления скоростью вращения различных электродвигателей, например, в приводах дисковых накопителей;
- измерительных приборах, например, частотомерах;
- синтезаторах частоты и др.

Автоматическая подстройка частоты широко применяется во входных каскадах бытовых радиоприёмников, в том числе телевизионных и обычно заключается в автоматическом изменении частоты гетеродина (АПЧГ), в небольшом диапазоне: при уходе частоты гетеродина от необходимой для качественного приёма сигнала (например, вызванное изменением температуры), АПЧГ изменяет управляющий сигнал, подаваемый на гетеродин, таким образом, чтобы частота гетеродина соответствовала наилучшему приёму.

В телевизионных приёмниках также используется автоматическая подстройка частоты и фазы строчной развёртки с синхронизирующими импульсами видеосигнала [3].

Синтезаторы частот, применяемые в качестве гетеродинов радиоприемников, в настоящее время в основном реализуются при помощи схемы фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ). Это связано с тем обстоятельством, что диапазон перестройки гетеродинов в приемниках мобильной связи УКВ диапазона достаточно мал.



Рисунок 7 – Синтезатор частоты [4]



Рисунок 8 – Частотомер

## 2 Структурная схема

На рисунке 9 показана упрощенная функциональная схема супергетеродинного приемника, в котором для стабилизации промежуточной частоты сигнала используется система ЧАП. Система ЧАП, включаемая в состав приемника, работает следующим образом. Напряжение с выхода УПЧ подается на частотный дискриминатор (ЧД). При появлении отклонения промежуточной частоты сигнала от её номинального значения, которое совпадает с центральной частотой УПЧ, на выходе дискриминатора появляется напряжение, зависящее от величины и знака отклонения  $\Delta\omega$ . Выходное напряжение дискриминатора, пройдя через фильтр нижних частот (ФНЧ), поступает на подстраиваемый генератор (ПГ) и изменяет его частоту, а следовательно, и промежуточную частоту сигнала так, что исходное рассогласование  $\Delta\omega$  уменьшается.

В результате работы системы ЧАПЧ промежуточная частота сигнала удерживается близкой к центральной частоте УПЧ. Это позволяет существенно уменьшить влияние взаимной нестабильности частот передатчика и гетеродина, сузить полосу УПЧ и повысить качество приема.

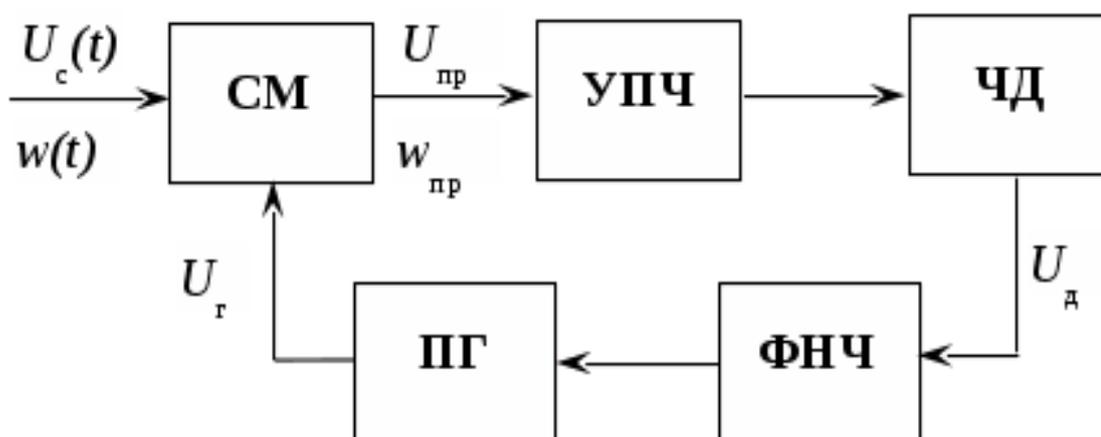


Рисунок 9 – Структурная схема ЧАПЧ

## 2.1 Основные элементы

### 2.1.1 Усилитель промежуточной частоты

Усилители промежуточной частоты (УПЧ) обеспечивают основное усиление радиоприемного устройства и подавление сигналов соседних каналов радиоприема. Поэтому они работают на фиксированной, более низкой промежуточной частоте, чем частота радиосигнала. Фиксированное значение частоты способствует созданию полосовых фильтров с формой частотной характеристики, близкой к прямоугольной. Снижение частоты радиосигнала позволяет увеличить устойчивый коэффициент усиления отдельных каскадов и усилителя в целом. УПЧ усиливают принимаемый сигнал до уровня, требуемого для нормальных условий работы детектора.

Усилители промежуточной частоты классифицируют по ряду признаков:

- по характеру распределения избирательности различают два типа УПЧ: с сосредоточенной и распределенной избирательностью;
- по ширине полосы пропускания усилители разделяются на узкополосные с относительной полосой пропускания менее 0,05 и широкополосные с относительной полосой пропускания более 0,05;
- по схемному решению различают УПЧ, построенные на дифференциальных каскадах, на каскадах с общим эмиттером и др.

Основными показателями УПЧ являются:

- *коэффициент* усиления на центральной частоте полосы пропускания:  $K_{\text{ут}} = K^n$ , где  $K$  — коэффициент усиления отдельного каскада;  $n$  — число каскадов УПЧ;
- *избирательность* по соседнему каналу, определяемая соотношением  $S_{\text{ск}} = K_{\text{ут}}/K_{\text{ск}}$ , где  $K_{\text{ск}}$  — коэффициент усиления на частоте соседнего канала, отстоящего от основного канала приема на заданную величину  $A$ ;
- *полоса пропускания*, определяемая как полоса частот.

- степень частотных и нелинейных искажений сигнала, обусловленных неравномерностью усиления в полосе пропускания УПЧ и вхождением оконечных каскадов УПЧ в режим ограничения амплитуды;

### 2.1.2 Частотный дискриминатор

Частотный дискриминатор (ЧД) — это устройство, выходное напряжение которого зависит от отклонения частоты входного сигнала от промежуточной частоты:  $F(\omega - \omega_0)$ , где  $\omega_0$  промежуточная частота.

По способу задания переходной частоты ЧД подразделяют на две группы. В дискриминаторах первой группы переходная частота определяется настройкой эталонного фильтра (колебательного контура). В ЧД второй группы переходная частота равна частоте колебаний напряжения с эталонного генератора.

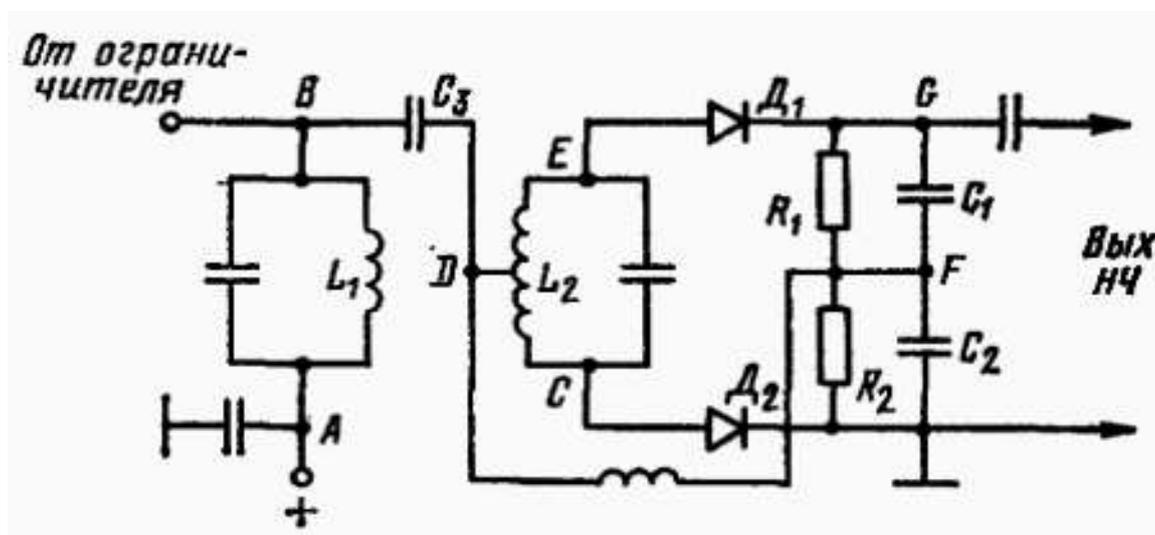


Рисунок 10 – Частотный дискриминатор

### 2.1.3 Фильтр низких частот

Фильтр нижних частот (ФНЧ) — электронный или любой другой фильтр, эффективно пропускающий частотный спектр сигнала ниже некоторой частоты (частоты среза) и подавляющий частоты сигнала выше этой частоты. Степень подавления каждой частоты зависит от вида фильтра.

В отличие от фильтра нижних частот (НЧ), фильтр верхних частот пропускает частоты сигнала выше частоты среза, подавляя низкие частоты.

Реализация фильтров нижних частот может быть разнообразной, включая электронные схемы, программные алгоритмы, акустические барьеры, механические системы и т. д.

В схемах пассивных аналоговых фильтров используют реактивные элементы, такие как катушки индуктивности и конденсаторы. Сопротивление реактивных элементов зависит от частоты сигнала, поэтому, комбинируя такие элементы, можно добиться усиления или ослабления гармоник с нужными частотами.

Идеальный фильтр нижних частот (sinc-фильтр) полностью подавляет все частоты входного сигнала выше частоты среза и пропускает без изменений все частоты ниже частоты среза. Переходной зоны между частотами полосы подавления и полосы пропускания не существует. Идеальный фильтр нижних частот может быть реализован лишь теоретически с помощью умножения спектра (преобразования Фурье) входного сигнала на прямоугольную функцию в частотной области, или, что даёт тот же эффект, свёртки сигнала во временной области с sinc-функцией.

Однако такой фильтр невозможно реализовать на практике, так как sinc-функция имеет ненулевые значения для всех моментов времени вплоть до бесконечности, и импульсная характеристика идеального фильтра не равна нулю для моментов времени меньших нуля. Его можно использовать только математически.

Реальные фильтры для приложений реального времени могут лишь приближаться к идеальному фильтру.

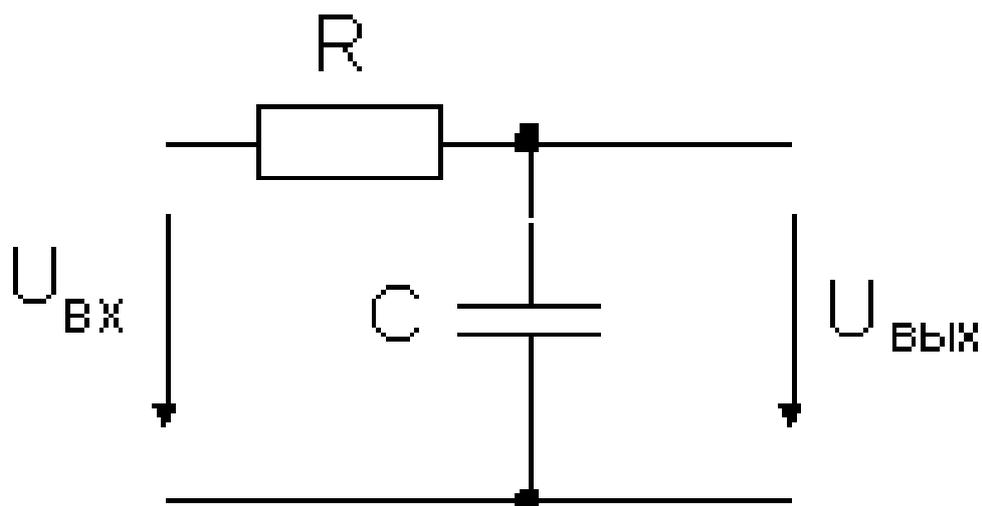


Рисунок 11 – Электронный фильтр нижних частот, построенный в виде RC - цепочки

#### 2.1.4 Генератор

Гетеродин — маломощный генератор электрических колебаний, применяемый для преобразования частот сигнала в супергетеродинных радиоприёмниках, приёмниках прямого преобразования, волномерах и пр.

Гетеродин создаёт колебания вспомогательной частоты, которые в блоке смесителя смешиваются с поступающими извне колебаниями высокой частоты. В результате смешения двух частот, входной и гетеродина, образуются ещё две частоты (суммарная и разностная). Разностная частота используется как промежуточная частота, на которой происходит основное усиление сигнала.

К гетеродинам устанавливаются высокие требования по стабильности частоты и амплитуды, а также спектральной чистоте гармонических колебаний. Чем выше эти требования, тем сложнее конструктивное исполнение гетеродина: стабилизируют напряжение питания, применяют сложные схемы, исключая влияние внешних факторов на частоту генератора, компоненты со специальными свойствами, гетеродин помещают в термостат, используют системы автоматической подстройки частоты и т. д. Если гетеродин работает на фиксированной частоте, применяют стабилизацию с помощью кварцевого резонатора. В современной

радиоаппаратуре в качестве перестраиваемых гетеродинов всё чаще применяют цифровой синтезатор частоты, который обладает главным преимуществом: стабильность частоты гетеродина зависит только от стабильности частоты опорного генератора.

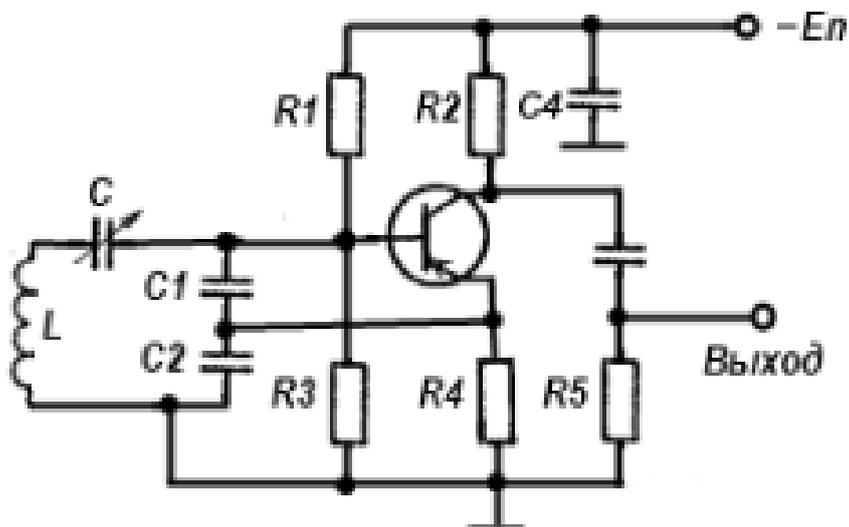


Рисунок 12 – Схема гетеродина с емкостной обратной связью

### 2.1.5 Смеситель

**Смеситель** – электрическая цепь, создающая спектр комбинационных частот при подаче на неё двух или более сигналов разной частоты.

Смесители являются частью преобразователей частоты в радиоприёмных, радиопередающих и других устройствах, в которых осуществляется генерирование и формирование сигнала.

Смесители подразделяются на два основных типа:

- аддитивные, в которых суммируется напряжения сигнала и гетеродина и затем детектируется каким-либо нелинейным элементом;
- мультипликативные, в которых напряжения гетеродина и сигнала перемножаются.

В обоих случаях смесители могут быть активными, то есть представлять собой каскад усиления, работающий в нелинейном режиме и

обеспечивающий помимо преобразования частоты ещё и усиление сигнала, и пассивными. В пассивных смесителях могут использоваться диоды или полевые транзисторы, работающие в режиме управляемых резисторов. Пассивные смесители обладают большим динамическим диапазоном, так как менее подвержены перегрузкам сильными сигналами.

Простейшим смесителем может являться один нелинейный электрический элемент, например, диод. Более сложные, балансные схемы, содержат несколько диодов и симметрирующие трансформаторы.

Смеситель чаще всего имеет два входа и один выход:

- вход «Гетеродин» используется для подачи сигнала гетеродина (некоторой известной немодулированной частоты, относительно которой выполняется преобразование). Этот сигнал должен превышать остальные сигналы по уровню примерно на порядок;
- вход (Выход) «ВЧ» – частота, которую необходимо преобразовать;
- выход (Вход) «ПЧ» – используются для подачи и получения сигналов низкой и высокой частот, в зависимости от вида работы – преобразование с повышением частоты, или с понижением.

Смесители, которые выполняют функцию перемножения напрямую, обладают превосходными характеристиками, потому что не дают побочных спектральных составляющих, называются балансными. Одно, достаточно общее свойство таких смесителей то, что они сначала преобразуют входное напряжение ( $t$ ) в ток, а затем осуществляют перемножение токов. Примером перемножающего смесителя может служить ячейка Гилберта.

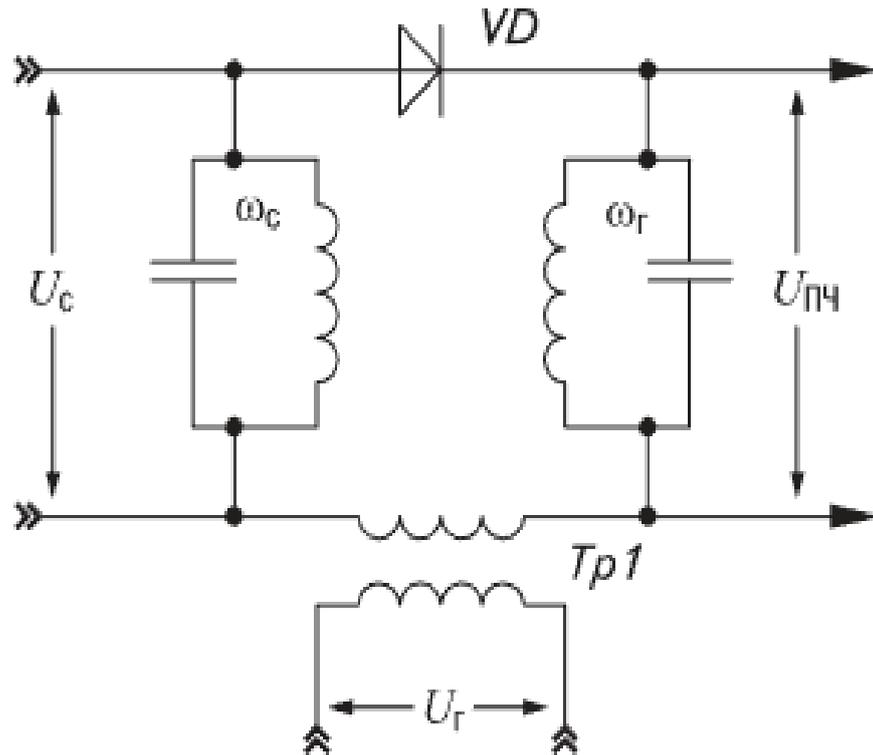


Рисунок 13 – Схема простейшего смесителя на одном диоде

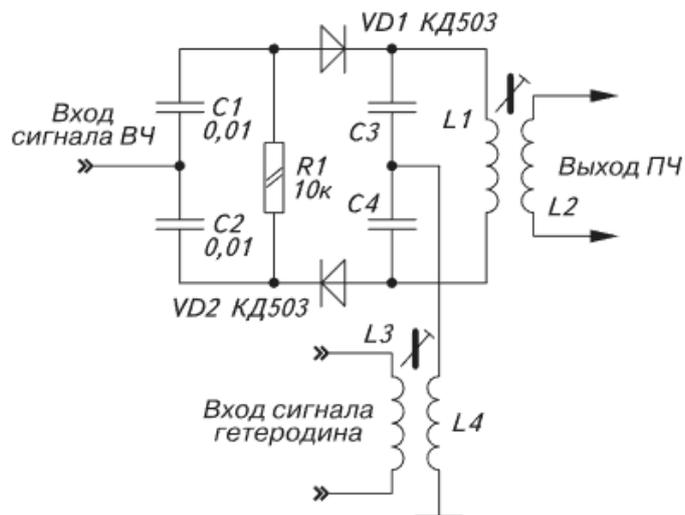


Рисунок 14 – Простейший балансный смеситель для бытового радиоприёмника

### 3 Практическая часть

Для моделирования была выбрана структурная схема, изображенная на рисунке 15.

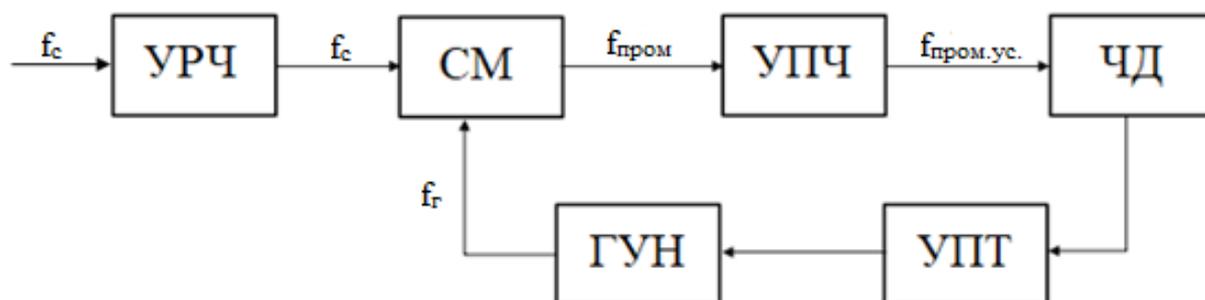


Рисунок 15 – Структурная схема

#### 3.1 Моделирование преобразователя частоты и гетеродина

На рисунке 16 представлен 4-х каскадный усилитель промежуточной частоты.

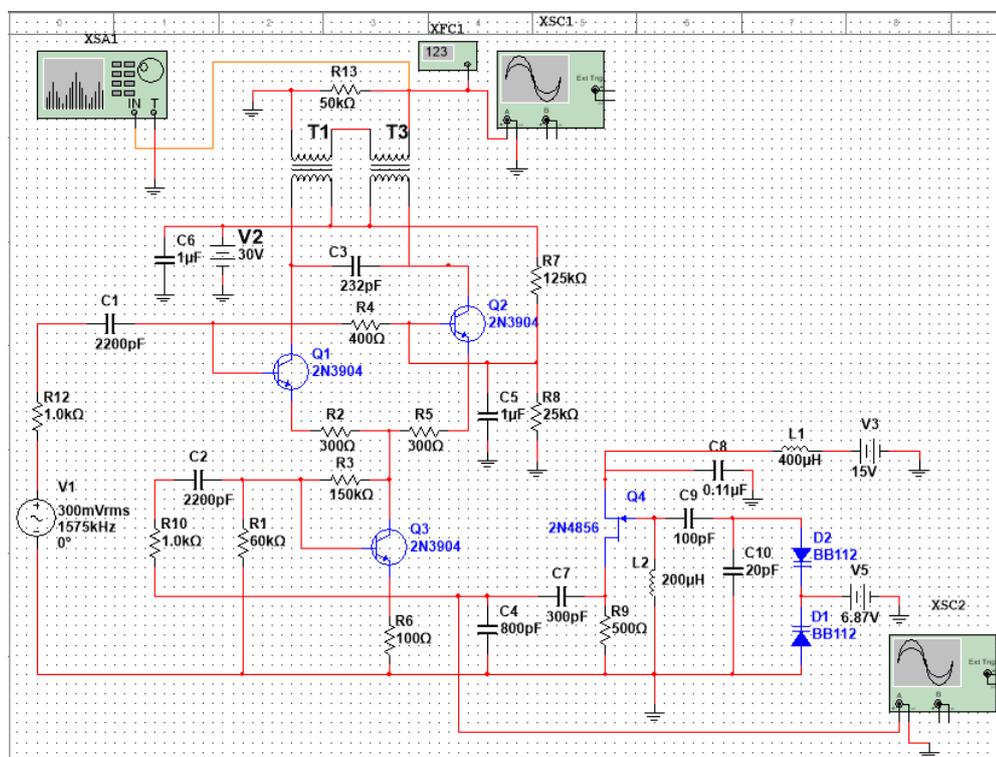


Рисунок 16 – Преобразователь частоты и гетеродин

На рисунке 17 представлена осциллограмма гетеродина. На рисунках 18 и 19 изображены осциллограмма и амплитудно-частотная характеристика преобразователя частоты соответственно.

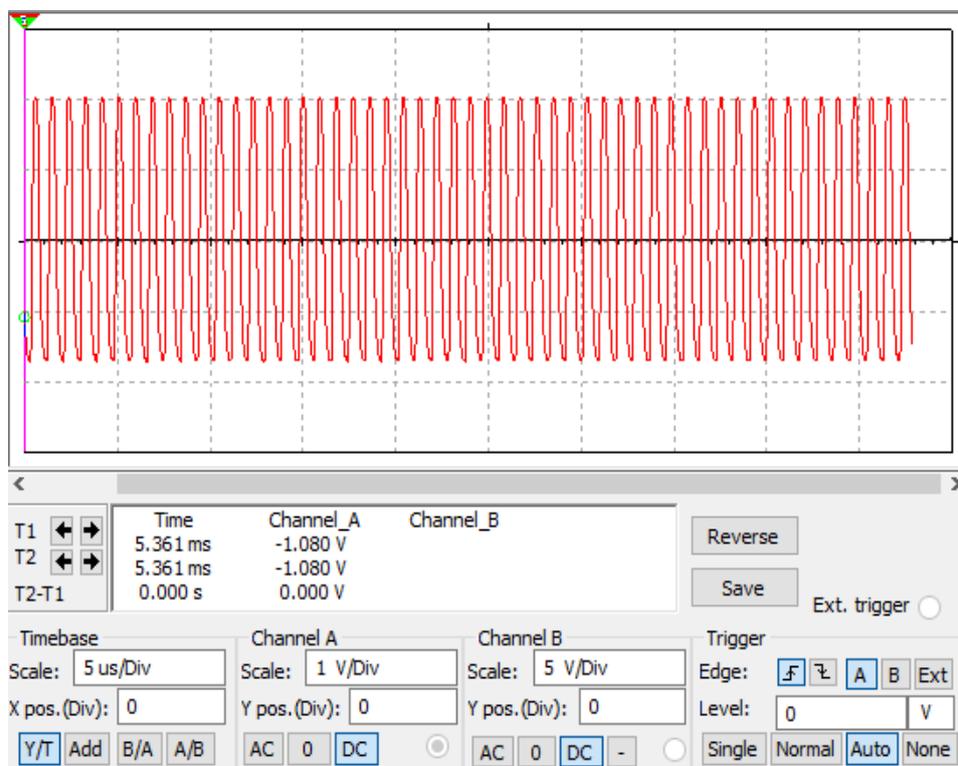


Рисунок 17 – Осциллограмма гетеродина

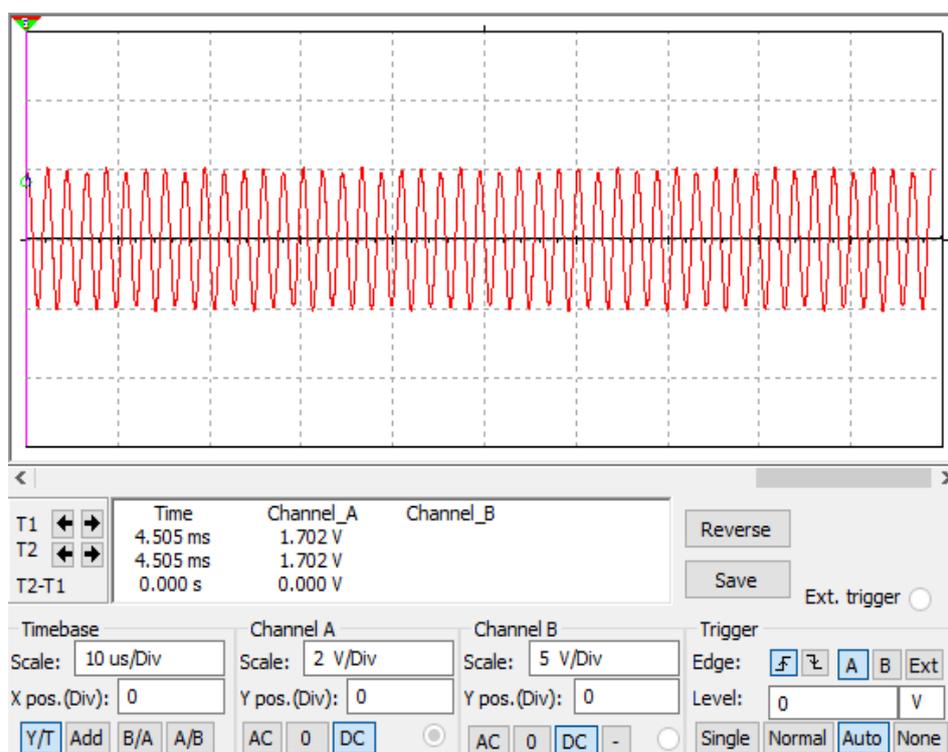


Рисунок 18 – Осциллограмма преобразователя частоты

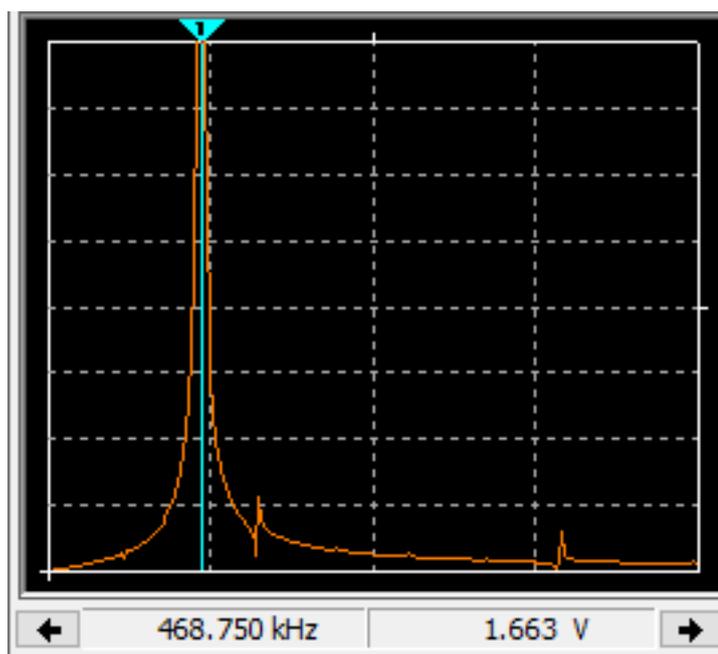


Рисунок 19 – Амплитудно-частотная характеристика преобразователя частоты

Частота сигнала 1575 кГц и частота гетеродина 1110 кГц поступают на преобразователь частоты и образуют промежуточную частоту 465 кГц.

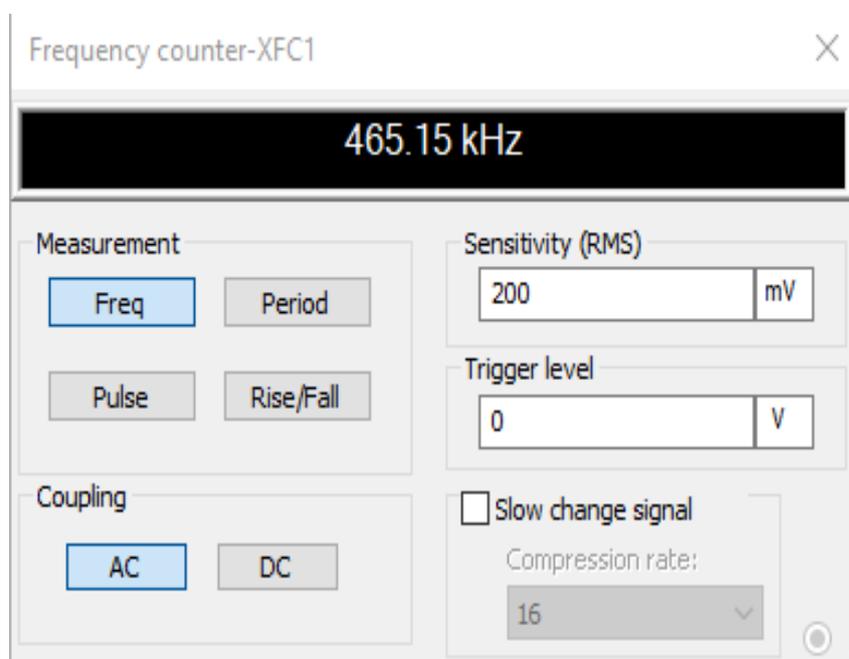


Рисунок 20 – Номинальная промежуточная частота

### 3.2 Моделирование УПЧ, ЧД, УПТ и гетеродина

Вторая часть моделирования включала в себя объединение УПЧ, ЧД, УПТ и гетеродина в одной схеме. Данная схема представлена на рисунке 21.

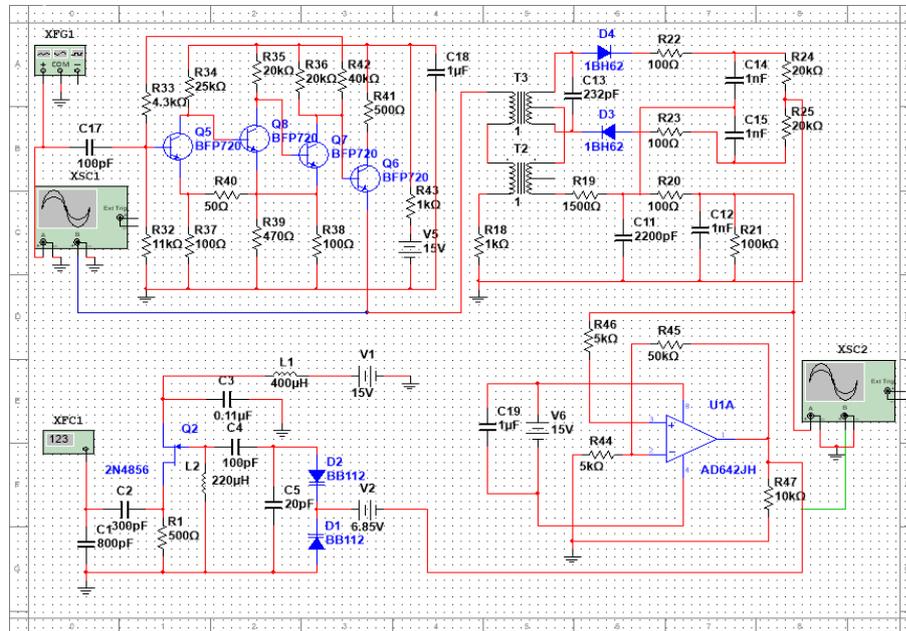


Рисунок 21 – УПЧ, ЧД, УПТ и гетеродин

На рисунке 22 изображена осциллограмма усилителя промежуточной частоты на входе (нижний) и выходе (верхний). На рисунке 23 изображены входной и выходной сигналы с усилителя постоянного тока.

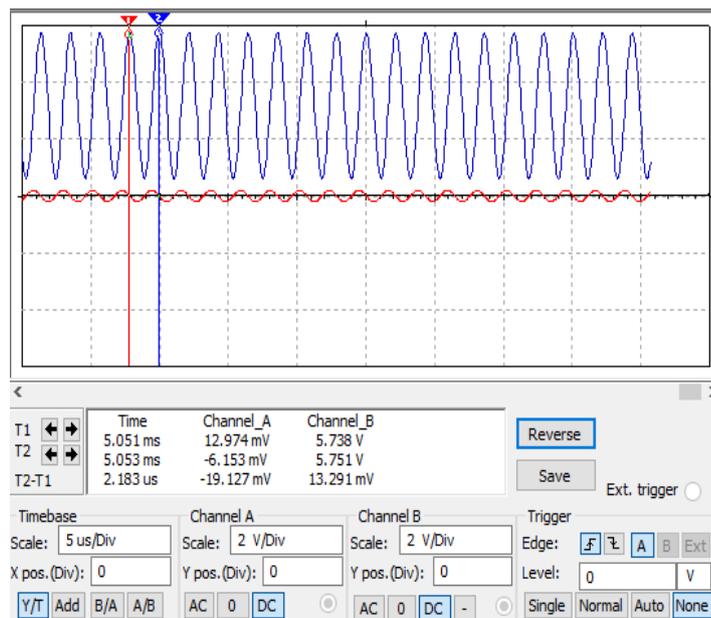


Рисунок 22 – Осциллограмма усилителя промежуточной частоты

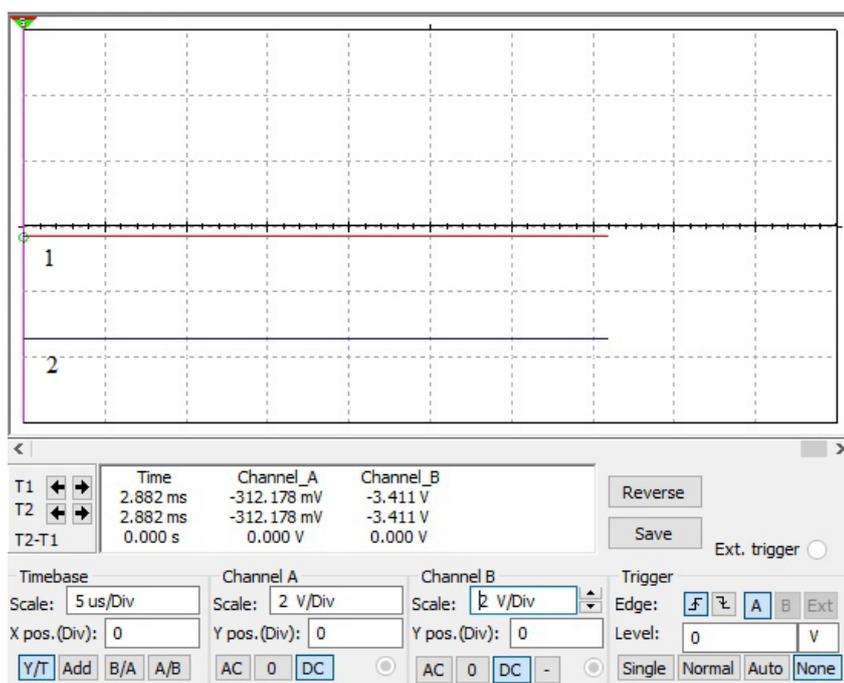


Рисунок 23 – Входной (1) и выходной (2) сигналы с УПТ

Для проверки работоспособности схемы изменяем промежуточную частоту на +/- 10 кГц. При отклонении промежуточной частоты от номинальной частота гетеродина перестраивается. На рисунках 24-26 показана перестройка частоты гетеродина в зависимости от промежуточной.

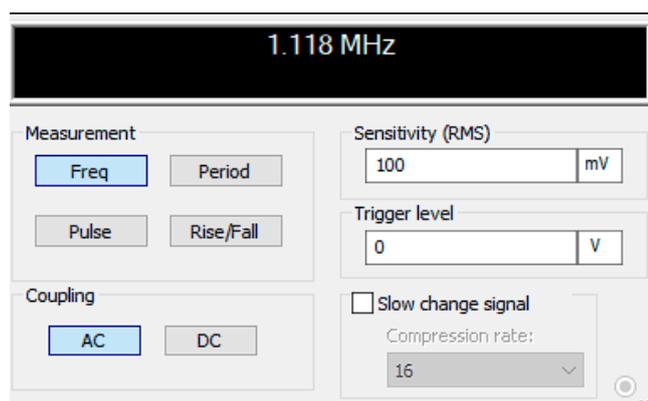


Рисунок 24 – Частота гетеродина при  $f_{пр}=465$  кГц

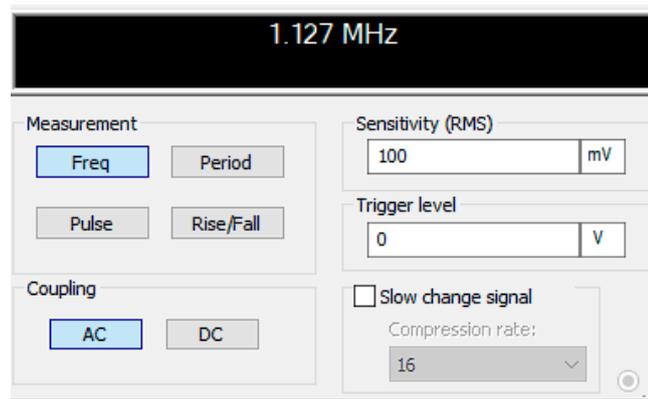


Рисунок 25 – Частота гетеродина при  $f_{\text{пр}}=475$  кГц

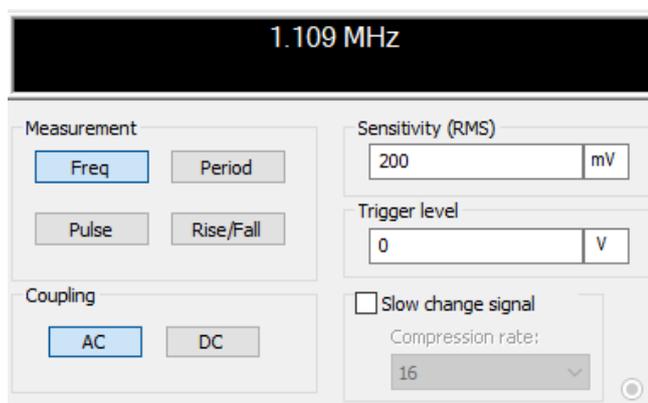


Рисунок 26 – Частота гетеродина при  $f_{\text{пр}}=455$  кГц

### 3.3 Создание печатных плат

Следующий этап включал в себя проектирование и сборку печатных плат. На рисунке 27 изображена печатная плата гетеродина. В него входят два варикапа КВ109А, полевой транзистор КП1302А.



Рисунок 27 – Печатная плата гетеродина

На рисунке 28 изображена печатная плата преобразователя частоты, собранного на трёх транзисторах 2N3904 и двух трансформаторах ALT3232M-151-T001.



Рисунок 28 – Печатная плата преобразователя частоты

На рисунке 29 изображена печатная плата частотного дискриминатора. В ней используются два диода HER302 и трансформатор В78476-А8065-А003.

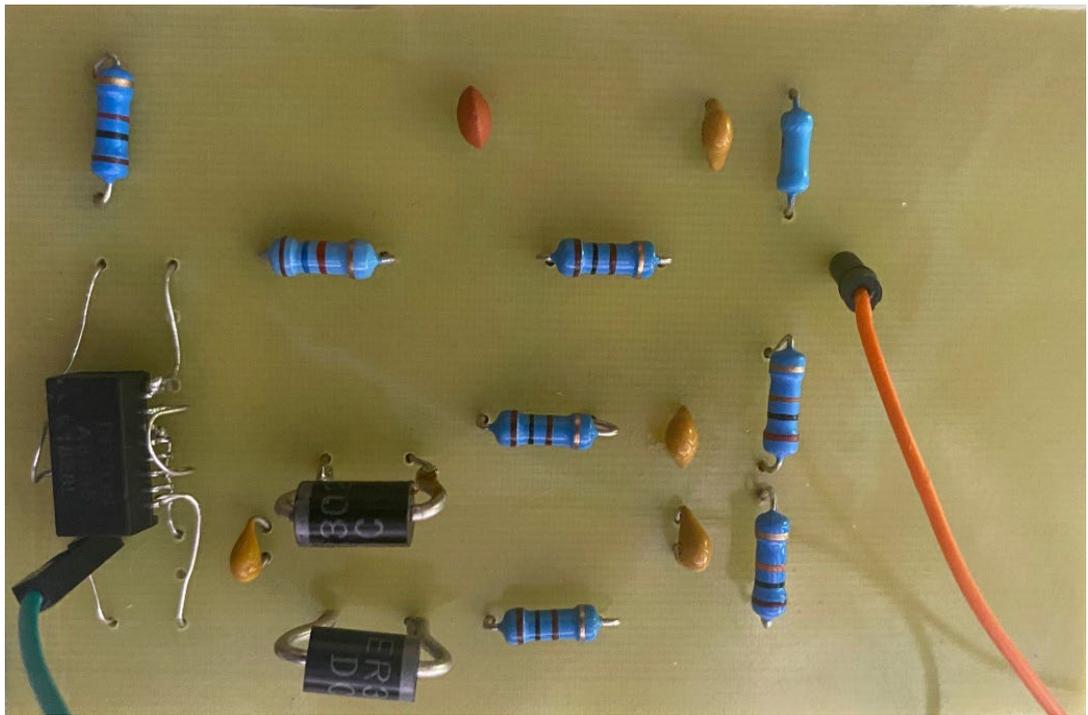


Рисунок 29 – Печатная плата частотного дискриминатора

На рисунке 30 изображена печатная плата усилителя постоянного тока. Включает в себя операционный усилитель LM358P.



Рисунок 30 – Печатная плата усилителя постоянного тока

На рисунке 31 изображена печатная плата усилителя промежуточной частоты. Включающая в себя 4 транзистора КТ315, являющихся отечественными аналогами транзистора BFP720.

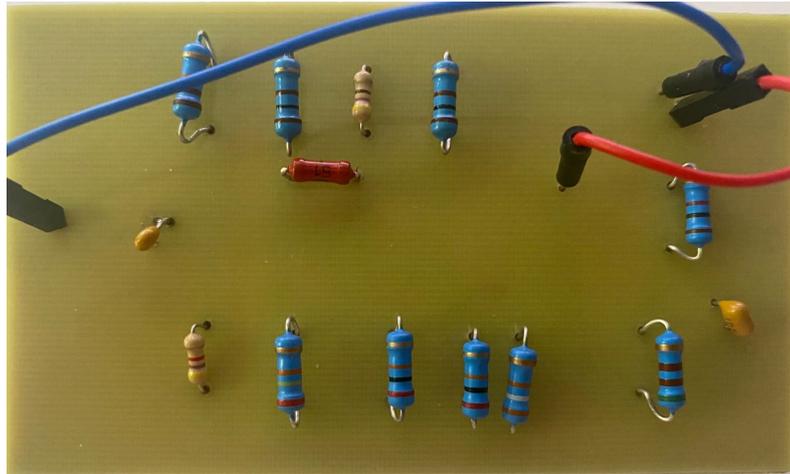


Рисунок 31 – Печатная плата усилителя промежуточной частоты

Тестирование плат проводилось на оборудовании NI ELVIS II с использованием осциллографа и генератора. На рисунках 32-33 представлены процесс тестирования усилителя промежуточной частоты, а также осциллограмма входного и выходного сигналов.

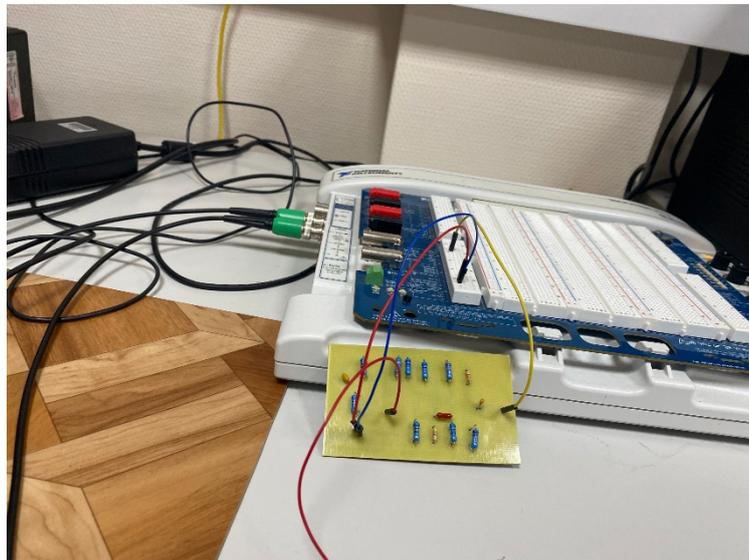


Рисунок 32 – Тестирование УПЧ

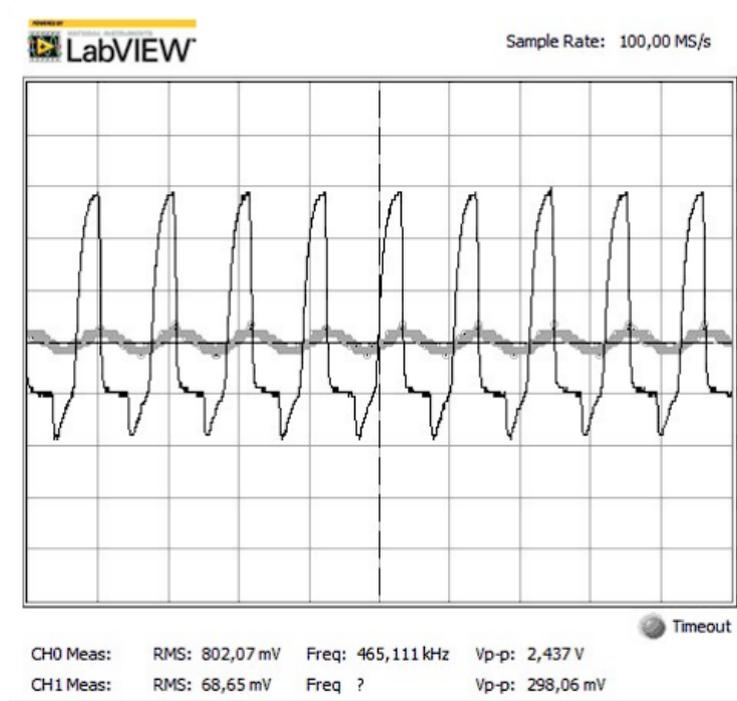


Рисунок 33 – Осциллограмма УПЧ, реализованного на печатной плате

На рисунках 34-35 представлены процесс тестирования усилителя постоянного тока, а также осциллограмма входного и выходного сигналов.



Рисунок 34 – Тестирование УПТ

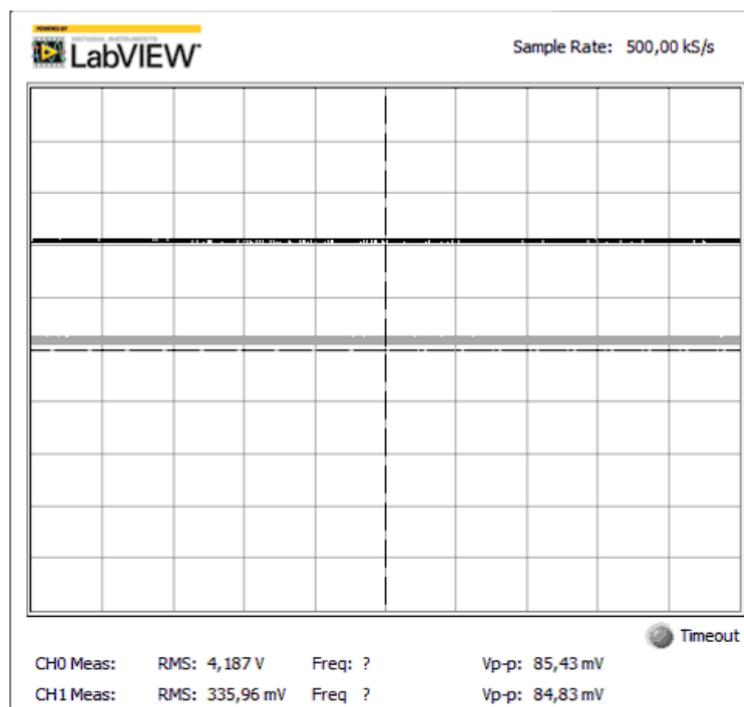


Рисунок 35 – Осциллограмма УПТ, реализованного на печатной плате

#### 4 Методические указания к лабораторной работе

##### Цель работы:

1. Изучение функциональной схемы и принцип работы системы ЧАПЧ.
2. Исследование влияния параметров функциональных элементов системы ЧАПЧ на процессы захвата и удержания частоты сигнала.

##### Основные положения

Главное функциональное назначение системы частотной автоподстройки частоты (ЧАПЧ) – следить за частотой переносчика модулированного сигнала  $f_0(t)$ . Отклонение частоты переносчика возникает в результате фазовой или частотной модуляции, нестабильности опорных генераторов радиопередатчика и радиоприемника и в результате эффекта Доплера.

Чаще системы ЧАПЧ используются в трактах промежуточной частоты (ПЧ) радиоприемников для стабилизации частоты сигнала на выходе преобразователя частоты (смесителя). Необходимость стабилизации промежуточной частоты  $f_{пч}$  связана с необходимостью минимизации полосы пропускания тракта ПЧ для минимизации мощности шума на его выходе.

Системы ЧАПЧ также используются для демодулирования сигналов частотной модуляции.

Функциональная схема системы ЧАПЧ приведена на рисунке 36.

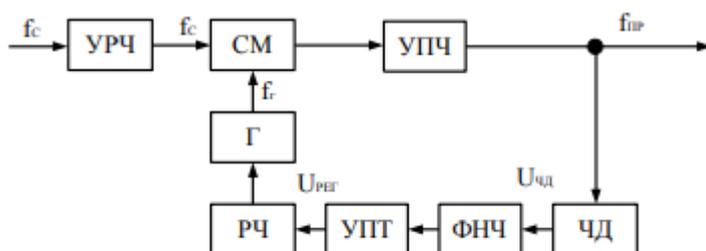


Рисунок 36 - Функциональная схема системы ЧАПЧ

Схема состоит из смесителя и усилителя промежуточной частоты, входящих в линейный тракт приемника. Изменения частоты принимаемого сигнала  $f_c(t)$  (задающего воздействия) должны отслеживаться регулируемой (выходной) величиной  $f_r(t)$  с тем, чтобы разность между ними в любой момент была возможно более близкой к  $f_0$ . Этот эффект достигается благодаря сравнению в ЧД мгновенного значения частоты  $f_{пр}(t)$  с внутренним параметром частотного детектора – переходной частотой  $f_d$ . Сигнал ошибки  $U_{чд}(t)$  после прохождения через ФНЧ и усиления в УПТ преобразуется в управляющее напряжение  $U_{рег}$ , приложенное к РЧ. Под воздействием  $U_{рег}$  частота  $f_r(t)$  изменяется на  $\Delta f_{под}$  в сторону уменьшения рассогласования между  $f_c(t)$  и  $f_r(t)$ . РЧ обычно входит в колебательный контур автогенератора – гетеродина (Г), поэтому часто РЧ и Г объединены в одно звено.

Работа включает в себя:

- 1) проверка работоспособности отдельных элементов;
- 2) соединение узлов;
- 3) проверка работоспособности схемы;
- 4) выполнение заданий.

**Задание 1.** Проверка амплитудной характеристики усилителя радиочастоты.

3.1. Снятие амплитудной характеристики УРЧ. Результаты представить в таблице 1.

Таблица 1 – АЧХ усилителя радиочастоты

$U_{вх},$ мВ	5	10	15	20	25	30	35	40
$U_{вых},$ мВ								

## Задание 2. Проверка настройки частотного детектора

4.1. Изменяя частоту сигнала  $f_c$  (частоту генератора) относительно номинальной ( $f_{c0}$ ) в диапазоне  $1110 \pm 35$  кГц через 2-5 кГц, убедиться по показаниям вольтметра, что частотный детектор настроен точно на  $f_{c0}$ .

Результаты измерений представить в таблице 2, таблице 3:

Таблица 2 – Выходное напряжение детектора при уменьшении промежуточной частоты

$\Delta f_c$ , кГц		-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35
$f_c$ , кГц	$f_{c0} = 1110$	1105	1100	1095	1090	1085	1080	1075
$U_{\text{выхЧД}}$ , В	0							

Таблица 3 – Выходное напряжение детектора при увеличении промежуточной частоты

$\Delta f_c$ , кГц		+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
$f_c$ , кГц	$f_{c0} = 1110$	1115	1120	1125	1130	1135	1140	1145
$U_{\text{выхЧД}}$ , В	0							

## 5 Обеспечение охраны труда

Опираясь на Трудовой кодекс РФ, для работника обеспечивается система сохранения жизни и здоровья в процессе трудовой деятельности [8].

Для обеспечения охраны труда необходимо выполнить анализ рабочего места (далее - РМ). Рабочее место влияет на эффективность деятельности работника, а также на производительность труда, поэтому оно должно соответствовать санитарно-эпидемиологическим правилам и нормам (СанПиН).

Написание дипломной работы проводилось в лабораторных условиях. Лабораторное РМ располагается в комнате площадью 16 кв. м. В лаборатории окно, которое выходит на солнечную сторону, также имеется потолочная лампа.

РМ представляет собой стол, на котором располагаются ноутбук, беспроводная компьютерная мышь, а также стул.

СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» является основным нормативно-правовым документом, который устанавливает санитарные требования к рабочему месту [9]. Данный документ определяет необходимые гигиенические требования к показателям на рабочем месте, методы измерения данных показателей и возможные мероприятия по профилактике вредного воздействия данных факторов на здоровье работников, а также допустимые уровни физических факторов РМ, которые будут допустимыми и не вызывать отклонений состояния здоровья работника.

Опираясь на данный СанПиН, были проанализированы такие физические показатели как:

- микроклимат рабочего места;
- качественные и количественные характеристики освещения;
- уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- эргономичность рабочего места.

Согласно Приложению 1 СанПиН 2.2.4.3359-16, данная работа относится к категории Ia, потому что энергозатраты не превышают 139 Вт.

Для анализа микроклимата на рабочем месте необходимо знать оптимальные условия согласно СанПиН.

В таблице 4 приведены оптимальные условия микроклимата.

Таблица 4 – Оптимальные и измеренные условия микроклимата

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Оптимальные условия микроклимата					
Холодный	Ia	22-24	21-25	60-40	0,1
Измеренные условия микроклимата рабочего места					
Холодный	Ia	24	Стол: 24 Ноутбук: 25 Потолок: 22 Стены: 22 Пол: 20	48	0

Температура воздуха была измерена при помощи комнатного термометра, а поверхности измерялись при помощи бесконтактного пирометра. Влажность воздуха была измерена при помощи часов, в которых есть встроенный гигрометр. В результате измерений было определено, что измеренные показатели соответствуют необходимым условиям, прописанным выше в таблице 4.

Затем были выполнены замеры уровня шума. Шум является вредным фактором и может неблагоприятно воздействовать на организм человека, а также может плохо повлиять на работу и отдых.

Опираясь на требования СанПиН 2.2.2.542-96, уровень шума в помещении не должен превышать 65дБ [10].

Измерение шума проводилось при помощи мобильного приложения «Шумомер». Результат измерения представлен на рисунке 37.

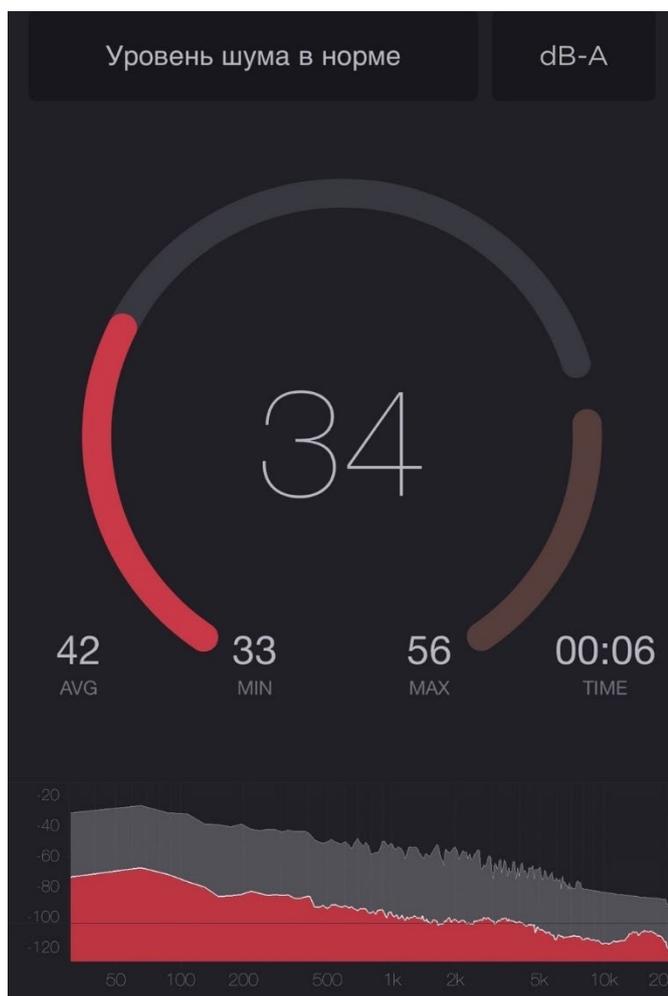


Рисунок 37 – Измерения уровня шума

Значения шума составило 34 дБ, что соответствует нормативному значению и данное значение шума на рабочем месте не является вредным фактором, влияющим на состояние здоровья. Источником шума в данном

случае являются: система охлаждения компьютера, устройство ввода, то есть компьютерная мышь и клавиатура.

Также были выполнены замеры показателей освещенность РМ. Помещение, в котором работник проводит более 50% рабочего времени, должно иметь совместное освещение – присутствие как естественного освещения, так и искусственного. Если освещение будет недостаточным, то оно может неблагоприятно воздействовать на зрение, психику и эмоциональное состояние человека, а также может привести к травматизму.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 значение освещенности рабочего места должно быть в интервале 300-500 лк [11].

Освещенность рабочего места была измерена при помощи мобильного приложения «Люксметр». Результат измерений представлен на рисунке 38.

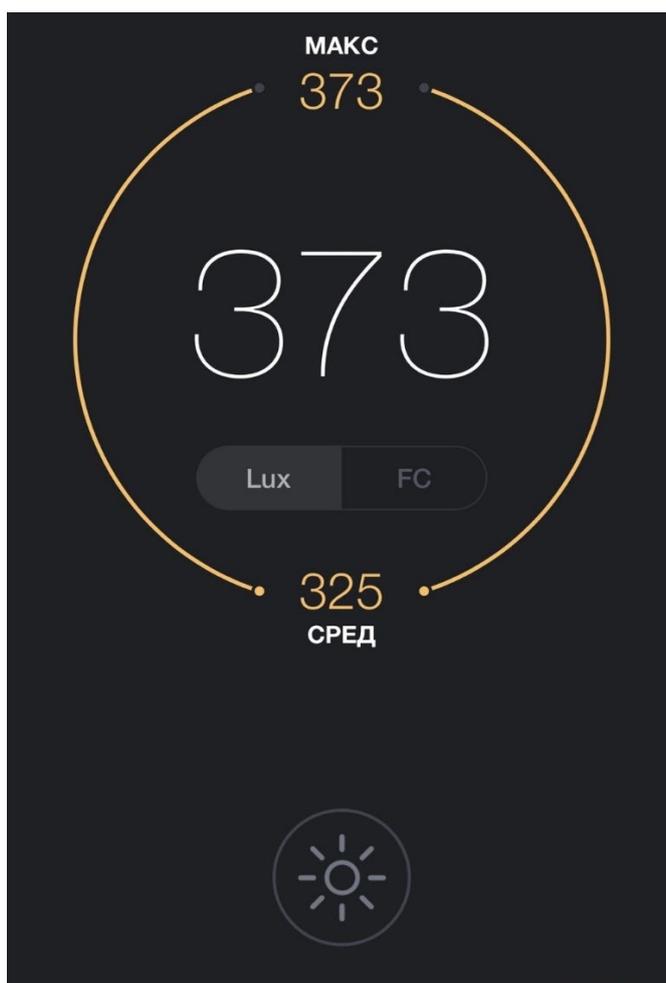


Рисунок 38 – Измерение освещенности

Значение освещенности составило 373 лк, что соответствует норме, таким образом данное значение освещенности не является вредным фактором.

Рабочее место работника должно быть правильно организованным. Опираясь на СанПиН 2.2.3670-20 были выполнены замеры используемого рабочего места на соответствие требованиям [12]. Замерялись рабочий стол и рабочее кресло.

Рабочий стол должен соответствовать нормативным показателям, представленным в СанПиН. В таблице 5 представлено сравнение нормативных значений рабочего стола и фактических значений используемого рабочего стола при выполнении дипломной работы.

Таблица 5 – Сравнение показателей рабочего стола

Параметр	Нормативный показатель	Фактический показатель
Высота поверхности стола от пола	680-800 мм	760мм
Ширина поверхности стола	800-1400мм	1400мм
Глубина поверхности стола	800-1000мм	800мм
Высота пространства для ног	не менее 600 мм	740мм
Ширина пространства для ног	не менее 500 мм	650мм
Глубина пространства для ног (на уровне колен)	не менее 450 мм	480мм
Глубина пространства ног (на уровне вытянутых ног)	не менее 650 мм	800мм

В результате измерения и сравнения показателей рабочего стола, можно увидеть, что стол соответствует заданным нормативным показателям.

Рабочее кресло также должно соответствовать заданным нормативным значениям СанПиН.

В таблице 6 представлено сравнение нормативных показателей и фактических измеряемых показателей рабочего кресла.

Таблица 6– Сравнение показателей рабочего кресла

Параметр	Нормативный показатель	Фактический показатель
Тип	подъемно-поворотный	подъемно-поворотный
Угол наклона вперед	до 15°	15°
Угол наклона назад	до 5°	5°
Угол наклона спинки в вертикальной плоскости	в пределах $\pm 30^\circ$	$\pm 30^\circ$
Регулировка по высоте сиденья	да	да
Высота сиденья стула	400-550 мм	400 мм
Ширина сиденья стула	не менее 400 мм	480 мм
Глубина сиденья стула	не менее 400 мм	400 мм
Высота спинки стула	не менее 300 мм	655 мм
Ширина спинки стула	не менее 380 мм	460 мм
Поверхность спинки, сиденья и др. элементов	полумягкая	полумягкая
Тип подлокотников	съемные/стационарные	
Длина подлокотников	не менее 250 мм	350 мм
Ширина подлокотников	50-70 мм	50 мм

В результате измерения и сравнения показателей рабочего кресла, можно увидеть, что измеренные показатели соответствуют нормативным, которые заданы требованиями.

В результате анализа и проведения измерения фактических показателей рабочего места можно сделать вывод, что рабочее место соответствует санитарно-гигиеническим правилам и нормам:

Были соблюдены:

- 1) микроклиматические условия;
- 2) освещенность рабочего места;
- 3) уровень шума на рабочем месте;
- 4) эргономика рабочего места.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проделанной работы:

- 1) на основании литературного обзора показано, что системы АПЧ имеют широкое распространение в технике, поэтому их изучение является актуальной задачей.
- 2) рассмотрены области применения систем АПЧ и конкретные реализации и обоснован выбор структурной схемы лабораторного макета;
- 3) подобраны необходимые радиокомпоненты с учётом приемлемой цены и доступности в пределах города Томска;
- 4) разработаны печатные платы и изготовлены отдельные узлы системы АПЧ в тракте промежуточной частоты супергетеродинного приемника;
- 5) изготовлен лабораторный макет;
- 6) тестирование как составляющих блоков, так и в целом системы АПЧ в среде моделирования Multsim показало работоспособность предложенной схемы и ее устойчивую работу;
- 7) разработанные методические указания к лабораторной работе позволяют изучить принципы работы системы АПЧ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

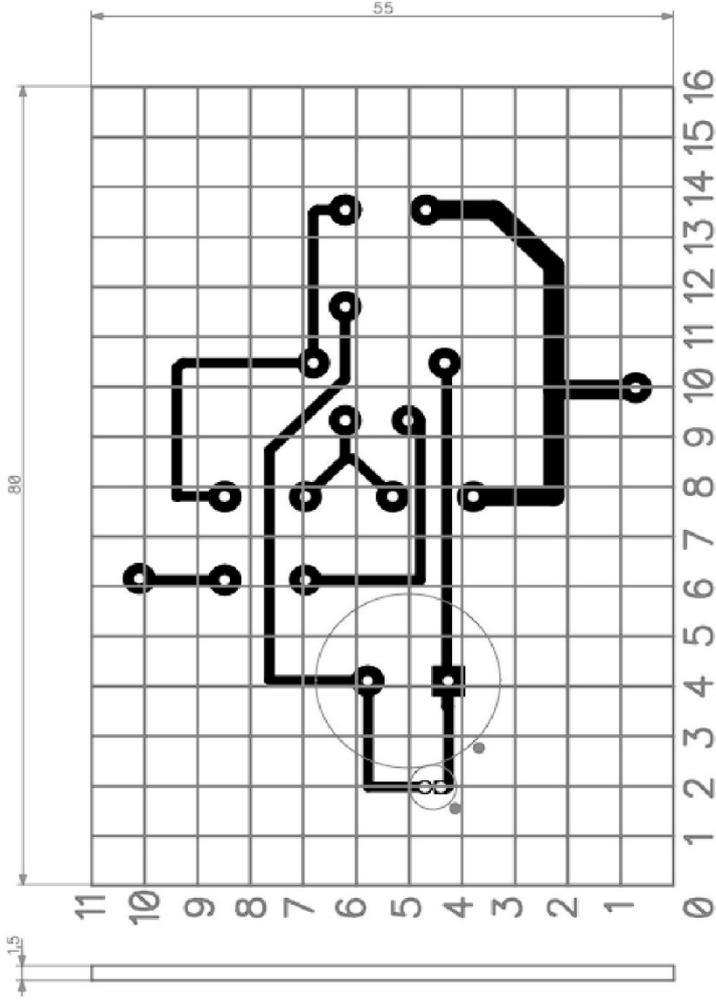
1. Системы частотной автоподстройки.  
URL: <https://works.doklad.ru/view/sBqvV-TdUGE.html> (дата обращения 09.11.2022).
2. Автоматическая подстройка частоты.  
URL: [https://studme.org/148275/tehnika/avtomaticheskaya\\_podstroyka\\_chastoty](https://studme.org/148275/tehnika/avtomaticheskaya_podstroyka_chastoty) (дата обращения 09.11.2022).
3. Автоматическая подстройка частоты.  
URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматическая\\_подстройка\\_частоты](https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматическая_подстройка_частоты) (дата обращения 09.11.2022).
4. Синтезаторы частоты. URL: <https://digteh.ru/WLL/synt.php> (дата обращения 09.11.2022).
5. Радиоавтоматика: Учебное пособие / В.П. Пушкарёв, Д.Ю. Пелявин, С.В. Плаксиенко. – Томск: ТУСУР, 2018. – С. 25 – 30.
6. Прием и обработка сигналов: учеб. пособие / К. Е. Румянцев. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – С. 307 – 309.
7. Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие. Методическая разработка к лабораторным работам / Галочкин В.А. – Самара: ФГОБУ ВПО ПГУТИ, 2015. – 254 с
8. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ. Статья 209. Основные понятия. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/78f36e7afa535cf23e1e865a0f38cd3d230eecf0/) (дата обращения: 14.01.2022);
9. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71362000/> (дата обращения: 14.01.2022);
10. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным

машинам и организации работ. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294851/4294851476.pdf> (дата обращения: 14.01.2022);

11. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294817/4294817617.pdf> (дата обращения: 13.01.2022).

12. СанПиН 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_372741/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372741/) (дата обращения: 11.01.2022)

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**Печатная плата усилителя постоянного тока**



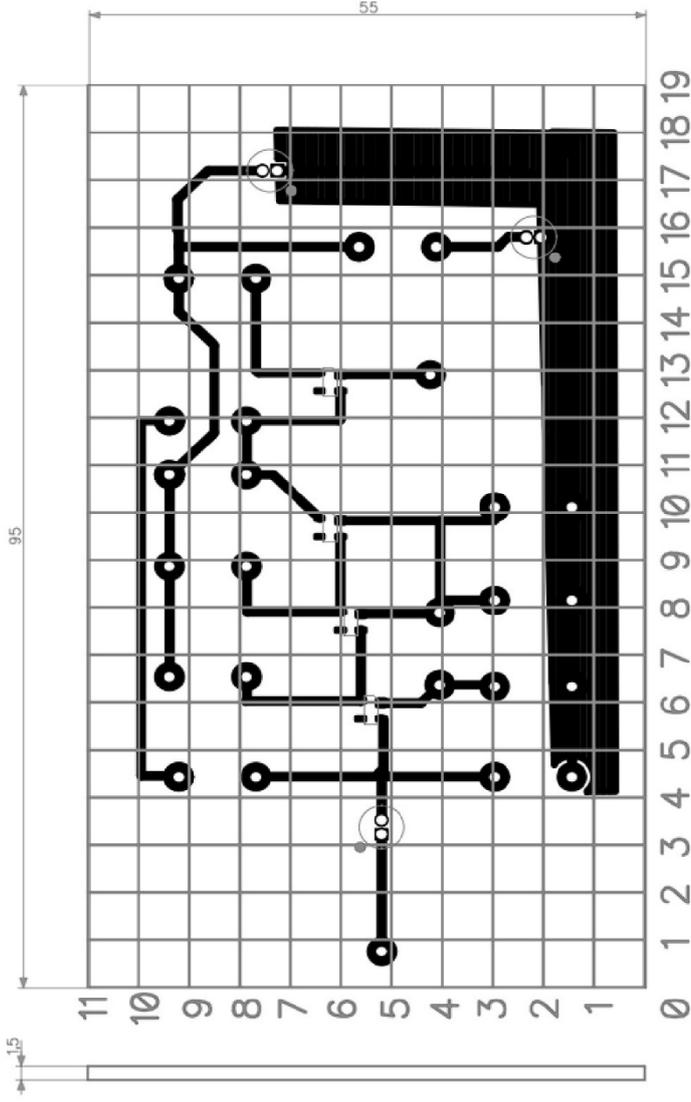
1. Шаг координатной сетки 5мм
2. Плату изготовить лазерным маркером
3. Размер для справок
4. Допускается подрезка контактных площадок

Условное обозначение отверстия	Диаметр отверстия мм	Диаметр контактной площадки, мм	Количество отверстий
⊙	0,9	3	16
■	0,9	3	1
□	0,9	1,3	1
○	0,9	1,3	1

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Арюткин К.С.		
Пров.		Кочеткова Т.Д.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Уте.				

ТУБК 468729.001				
Усилитель постоянного тока Печатная плата		Лит.	Масса	Масшт.
		Лист 1	Листов 1	
Стеклотекстолит FR4-1 18/0		РФФ, ТГУ		

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**Печатная плата усилителя промежуточной частоты**



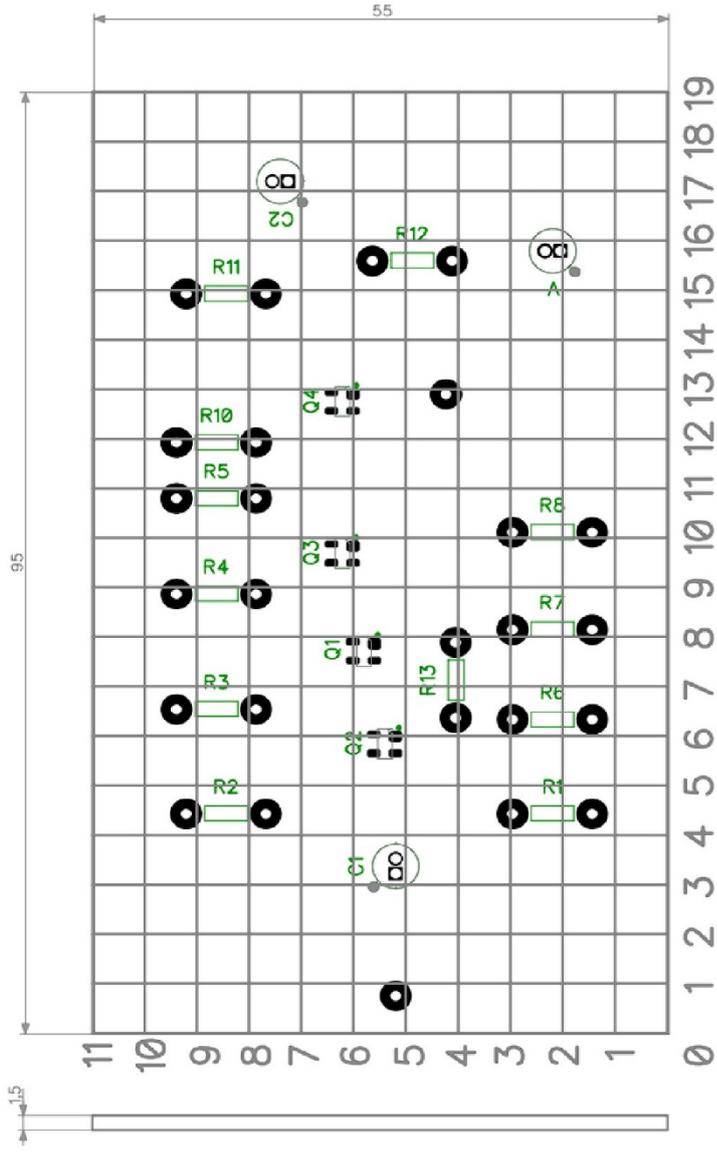
1. Шаг координатной сетки 5мм
2. Плату изготовить лазерным маркером
3. Размер для справок
4. Допускается подрезка контактных площадок

Условное обозначение отверстия	Диаметр отверстия мм	Диаметр контактной площадки, мм	Количество отверстий
●	0,9	3	23
□	0,9	1,3	3
○	0,9	1,3	3

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Арюткин К.С.		
		Кочеткова Т.Д.		
		Т.контр.		
		Н.контр.		
		Уте.		

ТУБК 468729.002				
Лит.		Масса	Масшт.	
Усилитель промежуточной частоты Печатная плата				
Лист 1		Листов 1		
Стеклотекстолит FR4-1 18/0			РФФ, ТГУ	

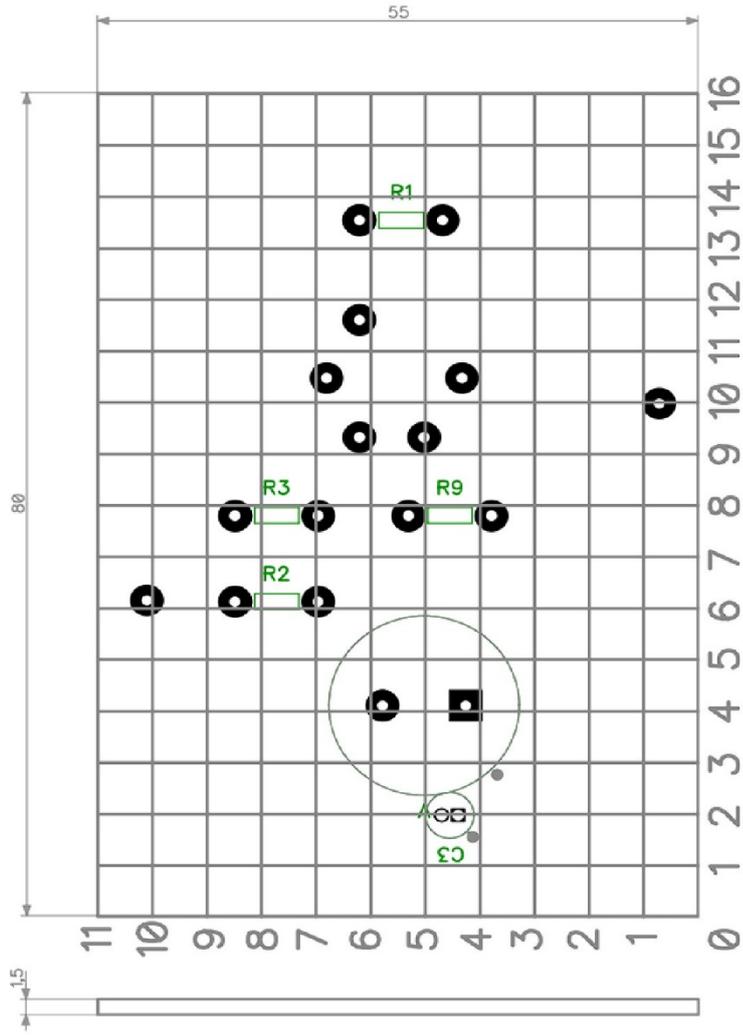
**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**Сборочный чертёж усилителя промежуточной частоты**



ТУБК 468729.003 СБ		Лит.	Масса	Масшт.
Усилитель промежуточной частоты сборный чертёж				
Стеклотекстолит FR4-1 18/0		Лист 1	Листов 1	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Арюткин К.С.		
Пров.		Кочеткова Т.Д.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

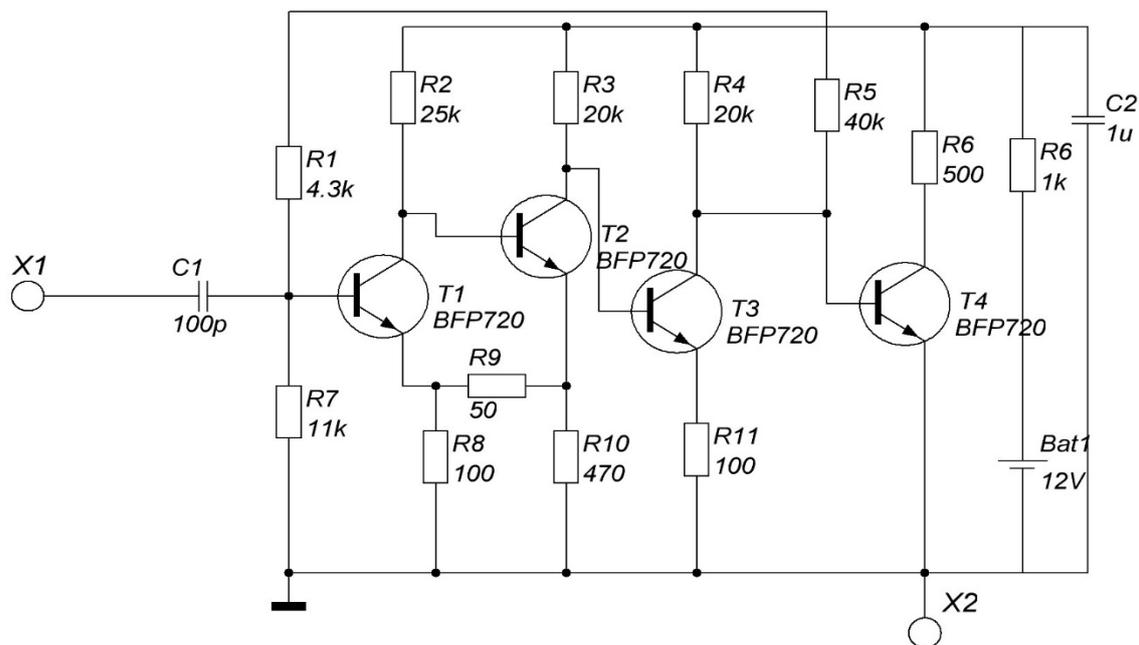
РФФ, ТГУ

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**  
**Сборочный чертёж усилителя постоянного тока**



ТУБК 468729.004 СБ			
Усилитель постоянного тока сборный чертёж		Лит.	Масса
		Лист 1	Листов 1
Стеклотекстолит FR4-1 18/0		РФФ, ТГУ	
Изм	Лист	№ докум.	Дата
Разраб.		Арюткин К.С.	Подп.
Пров.		Кочеткова Т.Д.	
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**Электрическая схема усилителя промежуточной частоты**



## ТУБК 468729.005 Э3

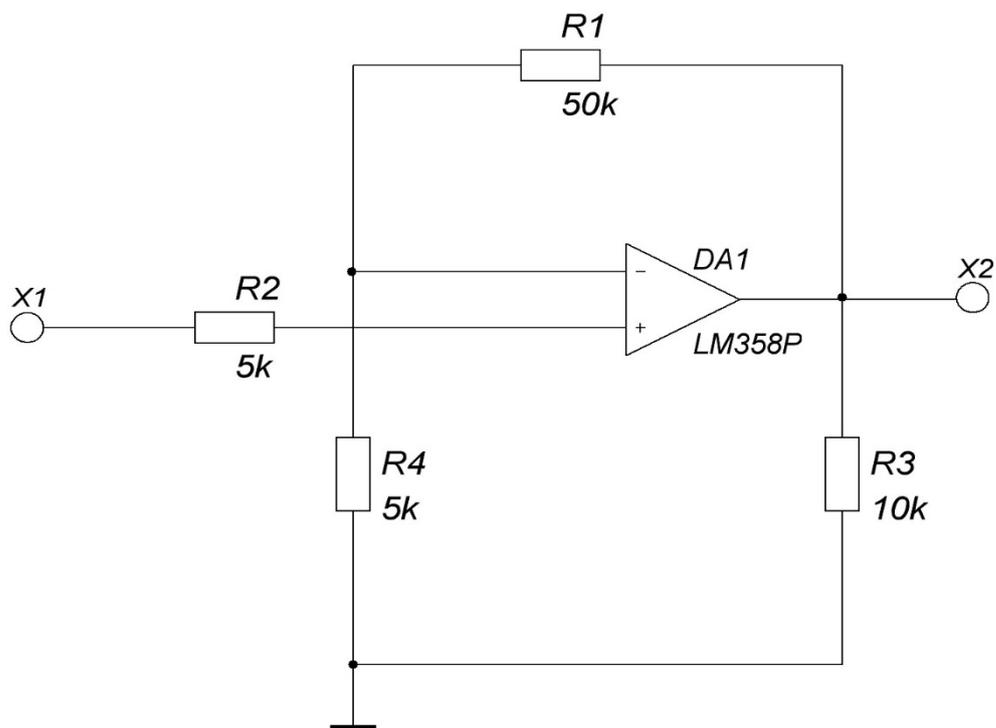
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Арюткин К.С.		
Провер.		Кочеткова Т.Д.		
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.				
Утверд.				

Усилитель промежуточной частоты  
Схема электрическая принципиальная

Лист	Масса	Масштаб
Лист 1		Листов 1

**РФФ, ТГУ**

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
**Электрическая схема усилителя постоянного тока**



					<b>ТУБК 468729.006 Э3</b>		
					Усилитель постоянного тока Схема электрическая принципиальная		
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Арюткин К.С.					
Провер.		Кочеткова Т.Д.					
Т. контр.					Лист 1	Листов 1	
Реценз.					<b>РФФ, ТГУ</b>		
Н. контр.							
Утверд.							

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**  
**Перечень элементов усилителя постоянного тока**



**ПРИЛОЖЕНИЕ И**  
**Перечень элементов усилителя промежуточной частоты**

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Резисторы</i>			
R1	C2-23-0.25 - 4.3кОм ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R2	C2-23-0.25 - 25кОм ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R3	C2-23-0.25 - 20кОм ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R4	C2-23-0.25 - 20кОм ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R5	C2-23-0.25 - 40кОм ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R6	C2-23-0.25 - 5000м ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R7	C2-23-0.25 - 11кОм ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R8	C2-23-0.25 - 10000м ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R9	C2-23-0.25 - 500м ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R10	C2-23-0.25 - 4700м ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R11	C2-23-0.25 - 1000м ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
R12	C2-23-0.25 - 1кОм ±5%-А-В-В ОЖО 467.081 ТУ	1	
<i>Конденсаторы</i>			
C1	K10-176 M47 100нФ ±10% А В ОЖО 460.172 ТУ	1	
C2	K10-176 M47 1мкФ ±10% А В ОЖО 460.172 ТУ	1	
T1,T2	Транзистор BFP720	2	
T3,T4	Транзистор BFP720	2	

<b>ТУБК 468729.08 ПЭЗ</b>				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Арюткин		
Провер.		Кочеткова Т.Д.		
Реценз.				
Н. Контр.				
Утверд.				
Усилитель промежуточной частоты			Лит.	Лист
Перечень элементов				1
			РФФ, ТГУ	

# Отчет о проверке на заимствования №1



Автор: [icedragoning29@gmail.com](mailto:icedragoning29@gmail.com) / ID: 5179459

Проверяющий:

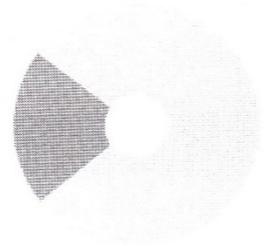
Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - <http://users.antiplagiat.ru>

## ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

№ документа: 14  
Начало загрузки: 26.01.2023 22:30:19  
Длительность загрузки: 00:00:01  
Имя исходного файла: ВКР (1).pdf  
Название документа: ВКР (1)  
Размер текста: 47 кБ  
Символов в тексте: 48183  
Слов в тексте: 5697  
Число предложений: 319

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 26.01.2023 19:30:21  
Длительность проверки: 00:00:02  
Комментарии: не указано  
Модули поиска: Интернет Free



### СОВПАДЕНИЯ

20,53%

### САМОЦИТИРОВАНИЯ

0%

### ЦИТИРОВАНИЯ

0%

### ОРИГИНАЛЬНОСТЬ

79,47%

Совпадения — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа.  
Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.  
Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общепотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативно-правовой документации.  
Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.  
Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.  
Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.  
Совпадения, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.  
Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

№	Доля в отчете	Доля в тексте	Источник	Актуален на	Модуль поиска	Блоков в отчете	Блоков в тексте
[01]	8,39%	13,64%	не указано <a href="https://edu.tusur.ru">https://edu.tusur.ru</a>	07 Авг 2018	Интернет Free	38	66
[02]	4,61%	13,21%	Пушкарёв В.П., Пелявин Д.Ю. Радиоавтоматика: Учебное пособие. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 149 с. Дата создания: 29.07.2012 <a href="http://tu.tusur.ru">http://tu.tusur.ru</a>	02 Апр 2020	Интернет Free	16	65
[03]	0%	13,21%	226_221_18_0_0.600_70136433 Пушкарёв В.П., Пелявин Д.Ю. Радиоавтоматика: Учебное пособие. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 149 с. <a href="http://tu.tusur.ru">http://tu.tusur.ru</a>	05 Дек 2020	Интернет Free	0	65

Еще источников: 7  
Еще совпадений: 7,53%

*Научный руководитель*  
*Т.К.И.*