

**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)**

Направление	11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Профиль (программа, специализация)	Системы связи и радиодоступа
Факультет	ФРТ
Кафедра	РЭС

К защите допустить
Зав. кафедрой

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

Тема: Моделирование транзисторного УПЧ

Студент	_____	Тихонов М.С
	подпись	
Руководитель	_____	Похвалин А.А
	подпись	
Консультант	_____	Голигузова Г.В
	подпись	

Санкт-Петербург
2017

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Утверждаю
Зав. кафедрой РЭС

« ____ » _____ 20__ г.

Студент Тихонов М.С

Группа 3181

Тема работы: Моделирование транзисторного УПЧ

Студент _____ Тихонов М.С

Руководитель _____ Похвалин А.А
(Уч. степень, уч. звание)

Реферат

Пояснительная записка содержит 50 стр, 32 рис, 2 табл, 5 источников

Объектом разработки является транзисторный УПЧ.

В данной работе рассматривается один из узлов супергетеродинного приемника - усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Задача проектирования усилителя заключается в настройке УПЧ на центральную частоту $f_0 = 60$ МГц, при полосе пропускания $df = 20$ МГц и коэффициенте усиления в полосе пропускания 40 дБ. Так же будут представлены результаты моделирования характеристик однокаскадного УПЧ, двухкаскадного УПЧ с расстроенными контурами.

ABSTRACT

In this paper we consider one of the nodes of the superheterodyne receiver - an intermediate frequency amplifier. The task of designing an amplifier is to adjust the intermediate frequency amplifier to a central frequency $f_0 = 60$ MHz, with a passband of $\Delta f = 20$ MHz and a gain in the passband of 40 dB. The results of modeling the characteristics of a single-stage intermediate frequency amplifier, a two-stage intermediate frequency amplifier with detuned circuits will also be presented.

Содержание

1.Перечень условных обозначений и сокращений	6
2. Введение	7
3. Историческая справка	11
4. Классификация и характеристики УПЧ.....	12
5. Принцип работы.....	14
6. Обзор УПЧ.....	16
7. Моделирование характеристик однокаскадного УПЧ	17
8. Нахождение рабочей точки	19
9. Параллельный колебательный контур	22
10. Настройка на центральную частоту	24
11. Моделирование однокаскадного усилителя	29
12. Одинаковая настройка контуров	32
13. Различная настройка контуров	34
14. Моделирование двухконтурного каскада	36
15. Моделирование с реальным LC - контуром	40
16 Дополнительный раздел по экономическому обоснованию ВКР	42
17 Заключение.....	49
18 Список использованной литературы	50

Перечень условных обозначений и сокращений

РТ – рабочая точка

УПЧ – усилитель промежуточной частоты

ПП – полоса пропускания

ОЭ – общий эмиттер

ОБ – общая база

ОК – общий коллектор

УВЧ – усилитель высокой частоты

УНЧ – усилитель низкой частоты

Введение

В современном радиоприемнике основным узлом выступает усилитель промежуточной частоты (УПЧ). За счет него обеспечивается основное усиление приемника, его полоса пропускания и частотно-избирательные свойства. Эксплуатационные свойства радиоприёмного устройства существенно зависят от свойств его УПЧ.

Применяется в трактах радиоприемных и радиопередающих устройств, измерительных приборов. Широко используются при построении систем связи, радиолокации, радионавигации.

Благодаря применению УПЧ достигается полная развязка между каскадами усиления в многокаскадных усилителях. Без применения УПЧ даже слабые наводки, создаваемые верхними каскадами усилителя, попадая в нижние каскады, вызвали бы эффект самовозбуждения колебаний, сделав невозможной работу усилителя.

Историческая справка

Первым усилителем был, вероятно, прибор «Аудионс» (Audions), который построил в 1912 году Ли де Форрест (Lee De Forest) — изобретатель лампового триода. С помощью этого усилителя, можно было услышать звук шагов мухи по листу бумаги.

В конце 1947 года исследователи Джон Бардин (John Bardeen), Уолтер Браттейн (Walter Brattain) и Уильям Шокли (William Shockley) создали твердотельный преобразователь сопротивления — сегодня все его знают как транзистор.

Вычислительная и полупроводниковая техника появились на свет не на пустом месте, хотя и в довольно пустынной части планеты на тихоокеанском побережье. Сегодня ее называют Silicon Valley — Кремниевая долина, именно здесь работал Ли де Форрест, которого можно назвать ее отцом-основателем.

За столетнюю историю развития усилителей было много побед. Совершенствовались техника и технология. Сегодня изготавливается большой ассортимент оборудования, который можно разделить на несколько групп.

Сначала самыми первыми были усилители на электронных лампах, после них создали гибридные и полностью твердотельные. Сегодня, при построении усилителей, отдается предпочтение полупроводникам, но ламповые усилители и сейчас встречаются своих пользователей.

Элементная база полупроводниковых усилителей за длительное время развития, столкнулась с серьезными изменениями. Вместо германиевых транзисторах начали использовать кремниевые. После освоения приборов р-п-р, были освоены транзисторы структуры п-р-п. Биполярные приборы так же были дополнены, полевыми транзисторами. Развитие элементной базы не изменило принципов: параметры полупроводниковых приборов

существенно зависят от температуры кристалла и протекающего через переход тока.

Например, в рабочем диапазоне токов коэффициент передачи тока у биполярного транзистора может изменяться на порядок. В рабочем диапазоне режимов серьезно меняется крутизна передаточной характеристики полевых транзисторов. Со временем были изобретены новые схемотехнические решения, которые разрешают уменьшить влияние этих изменений на параметры усилителя. Как раз таки в этом и состоит различие между моделями.

Столетняя история усилителестроения не прошла просто так. Возрастали мощности, уменьшались искажения. При условии, что ламповая установка кажется ненадежной и простой, на практике оборачивается легким ремонтом прибора. Усилитель может быть восстановлен в полевых условиях, если целы трансформаторы. Электронные лампы более устойчивы к разрушающим электрическим воздействиям, чем интегральные микросхемы или транзисторы.

Сегодняшние транзисторные линейные, импульсные на скорую руку не починишь, даже небольшие возрастания напряжения или тока приводит к вреду для прибора. Этот момент с повреждениями полупроводниковых усилителей, линейных, импульсных, известно давно и со временем были найдены способы предотвращения.

Система защиты сегодняшнего усилителя включает в себя контроль многих параметров, от напряжения питания и потребляемого тока до температуры радиатора, уровня входного сигнала и сопротивления нагрузки. Уже в порядке вещей стал плавный запуск с тестированием главных элементов усилителя — сегодня, с помощью буквально одной интегральной схемы, современные цифровые методы обработки сигналов

позволяют это сделать.

Так же положительно сказывается на массогабаритных показателях оборудования то, что ключевые и линейные усилители оснащаются сегодня импульсными блоками питания. Немало важно то, что импульсные блоки питания разрешают обеспечить нормальную работу усилителя при изменении напряжения сети питания, что часто бывает в живой работе.

Работоспособность и качество, так же зависит от климатических условий, про это не стоит забывать. Сегодня существуют аппараты, которые очень устойчивы к окружающей среде.

Усилители влияют на окружающую среду, а именно — на питающую сеть. Особенно к неприятным последствиям приводит то, что усилитель с классическим блоком питания использует из сети ток несинусоидальной формы. Если речь идет об усилителе мощностью 100 Вт то, увеличением потерь в проводах сети можно пренебречь, но для прибора мощностью 100 кВт потери оказываются серьезными. Гармоники тока создают помехи другим приборам, которые питаются от той же сети.

Так же далеки от идеальных и импульсные блоки питания: плюс к несинусоидальному использованию тока видны еще и коммутационные помехи. Для разработчиков и производителей, конечно, устранение этих недостатков выходит непросто и недешево, но зато результаты радуют: уровень помех с большим запасом удовлетворяет жестким современным требованиям.

Увеличение площади естественным образом вентилируемого радиатора, решал вопрос отвода тепла в первых усилителях. Сегодня мощные усилители держат ориентир на целенаправленный отвод тепла, а вентиляторы являются управляемыми. При повышении температуры радиатора или воздуха внутри корпуса, используется термодатчик, который

активизирует вентилятор.

Осталась в прошлом дискуссия о принципиальных недостатках полупроводниковых усилителей по сравнению с ламповыми. Выяснили, наконец, что неоспоримые эксплуатационные преимущества транзисторных усилителей выводят их далеко вперед, особенно в секторе мощного звукоусиления.

История повторяется, на смену линейным усилителям идут импульсные, обладающие существенно лучшим КПД и массогабаритными параметрами.

Классификация и характеристики УПЧ

Что такое вообще усилитель и какие они бывают?

Усилителем называется такое устройство, предназначенное для увеличения мощности колебаний при условии, что не изменяется их форма или частотный спектр. Используется 3 вида:

- усилитель мощности;
- усилитель напряжения;
- усилитель тока;

Так же усилители разделяют на избирательные и неизбирательные. Избирательные это те, которые работают с колебаниями высокой и промежуточной частоты. Неизбирательные, это усилители низкой частоты. Мы будем рассматривать усилитель промежуточной частоты(УПЧ).

Усилители можно классифицировать по ряду признаков:

- по величине относительной ширины полосы пропускания(узкополосные и широкополосные)
- по типу усилительных приборов(транзисторные и ламповые)
- по способу включения усилительных приборов (ОЭ, ОК, ОБ)
- по виду нагрузки усилительных приборов(резисторный, трансформаторный, дроссельный)
- по способу настройки контуров
- по виду амплитудной характеристики

Любой усилитель может быть представлен схемой, изображенной на рис.1

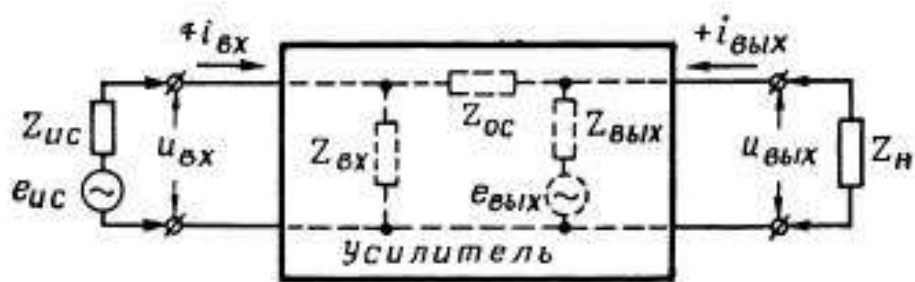


Рисунок 1- Обобщенная схема усилителя

На рисунке показано, что усилитель имеет три цепи: входную, выходную и цепь обратной связи.

Входная цепь описывается входным сопротивлением $Z_{вх}$.

Выходная цепь описывается величиной ЭДС условного генератора $E_{вых}$ и его выходным сопротивлением $Z_{вых}$.

Цепь обратной связи характеризуется $Z_{о.с}$

- если $Z_{вх} \gg Z_{и.с}$, то каскад допустимо называть усилителем напряжения

- если $Z_{вх} \ll Z_{и.с}$, то допустимо называть усилителем тока

- если $Z_{вх}$ примерно равно $Z_{и.с}$, то предпочитают называть просто усилитель(промежуточной частоты)

Принцип работы

Теперь перейдем ближе к УПЧ.

Усилитель промежуточной частоты (УПЧ) является основным узлом супергетеродинного приемника. Он создает усиление приемника, его полосу пропускания и частотно-избирательные свойства. Как работает этот приемник? На рис.2 показана схема такого приемника

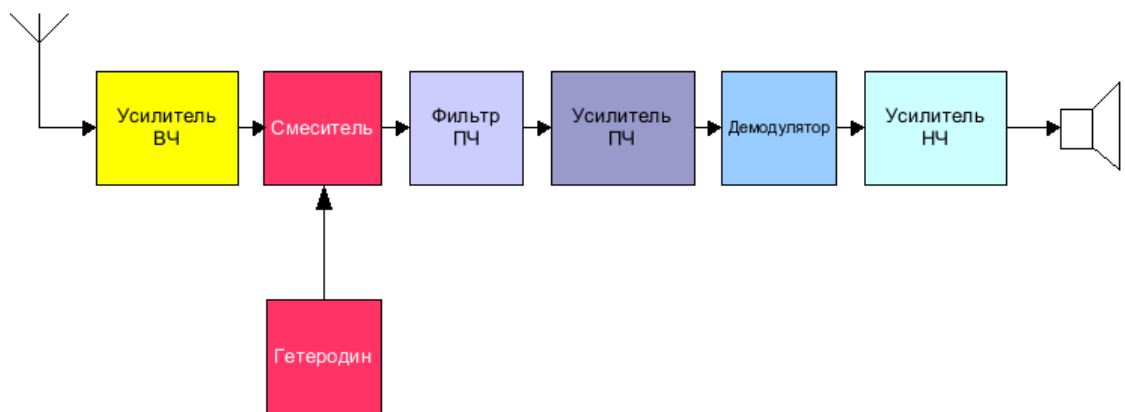


Рисунок 2 - Схема супергетеродинного приемника

Радиосигнал из антенны подается на вход усилителя радиочастоты, затем на вход смесителя, осуществляющего смешение частоты сигнала и частоты гетеродина. При этом колебательный контур гетеродина перестраивается одновременно с входным высокочастотным контуром. Таким образом на выходе смесителя получаются сигналы с частотой равной сумме и разности частот гетеродина и принимаемой радиостанцией. Разностный и постоянный сигнал промежуточной частоты выделяется с помощью фильтра промежуточной частоты и усиливается одним и несколькими каскадами усилителя промежуточной частоты. Затем сигнал промежуточной частоты поступает на демодулятор, восстанавливающий сигнал звуковой частоты. В обычных приемниках длинноволнового,

среднегодового и коротковолнового диапазона величина промежуточной частоты составляет 455 или 465 кГц. Преимуществами супергетеродинного приемника является наличие малого количества перестраиваемых контуров, возможность получения большого усиления за счет дополнительного усиления промежуточной частоты и высокой избирательности

Обзор УПЧ

При использовании радиоприёмного устройства, нужно учитывать свойства его УПЧ. Полностью описать УПЧ можно только при совместном учете комплекса его качественных показателей:

- номинальная промежуточная частота (частота, в которую преобразуется частота сигнала на промежуточном этапе его обработки в радиоэлектронном устройстве) ;

- степень усиления полезного сигнала;

- полоса пропускания частот;

- частотная избирательность (способность РПУ принимать полезный сигнал с заданным качеством при наличии нескольких мешающих сигналов. Частотная избирательность показывает степень ослабления действия мешающих сигналов) ;

- параметры нагрузки УПЧ.

Моделирование характеристик однокаскадного УПЧ

Моделирование УПЧ проводилось с помощью программного продукта Microwave Office.

Наиболее наглядно посмотреть на протекающие в усилительном каскаде процессы, можно за счет анализа его работы, проведенный с помощью вольт-амперных характеристик (ВАХ) усилительного прибора.

В работе был выбран транзистор серии BFR93A, рис. 4

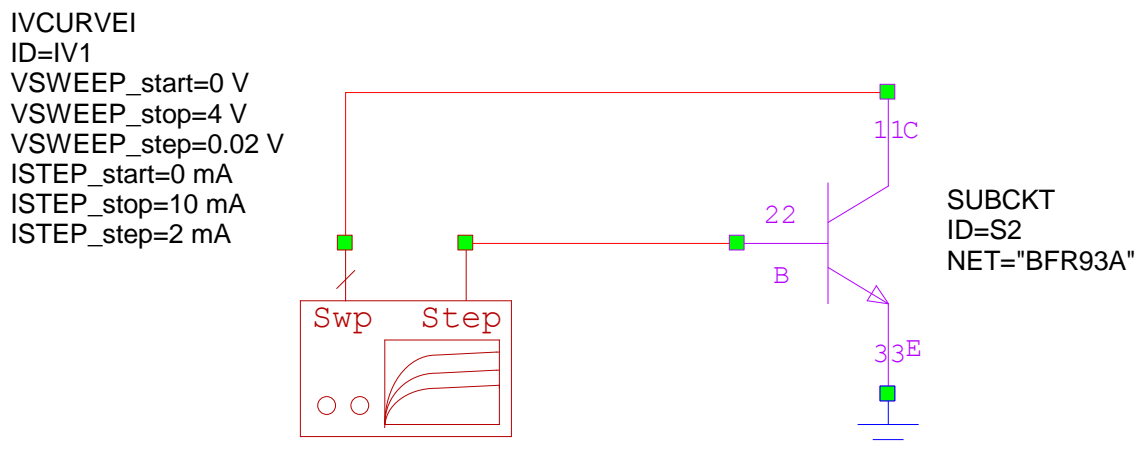


Рисунок 3 – транзистор BFR93A

Его ВАХ представлена на рис.4

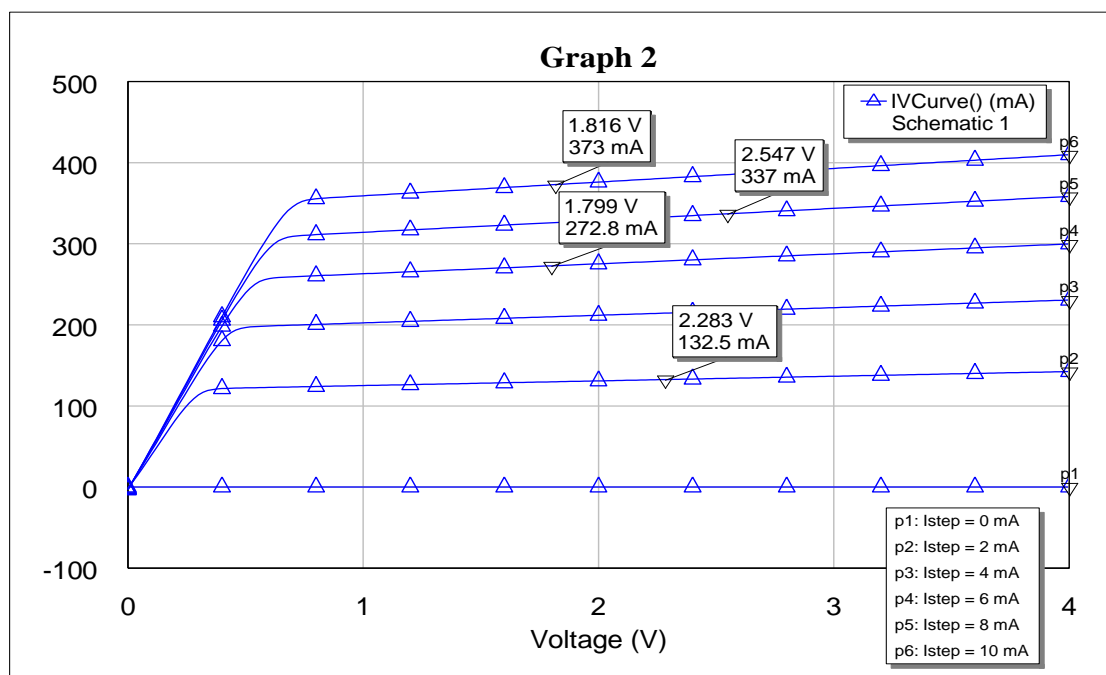


Рисунок 4 – ВАХ транзистора BFR93A

Этот транзистор полностью удовлетворяет потребностям проекта: частотный диапазон, уровень выходной мощности, максимальное значение тока и напряжения. К тому же он имеет нелинейную Pspice-модель, которую можно использовать в AWR. Поэтому был выбран именно BFR93A. Ниже представлена таблица показателей транзистора, табл.1

Таблица 1 – показатели BFR93A

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	–	15	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base	–	12	V
I_C	collector current (DC)		–	35	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_s \leq 95^\circ\text{C}$	–	300	mW
C_{re}	feedback capacitance	$I_C = 0$; $V_{CE} = 5\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$	0.6	–	pF
f_T	transition frequency	$I_C = 30\text{ mA}$; $V_{CE} = 5\text{ V}$; $f = 500\text{ MHz}$	6	–	GHz

Нахождение рабочей точки

Описать работу усилительного прибора можно как процесс управления протеканием тока $I_{вх}$ с помощью изменений входного сигнала $I_{вх}$ или $U_{вх}$. Рабочей точкой называют точку плоскости выходных или других ВАХ усилительного прибора, связывающая текущих значения токов и напряжений в каскаде.

Наша задача выбрать такое положение РТ чтобы получить максимальный размах тока и напряжения. Это выполняется при условии, если точка находится ровно по центру.

Но выходные ВАХ ограничены зонами, в которых транзистор работать не будет, рис. 5

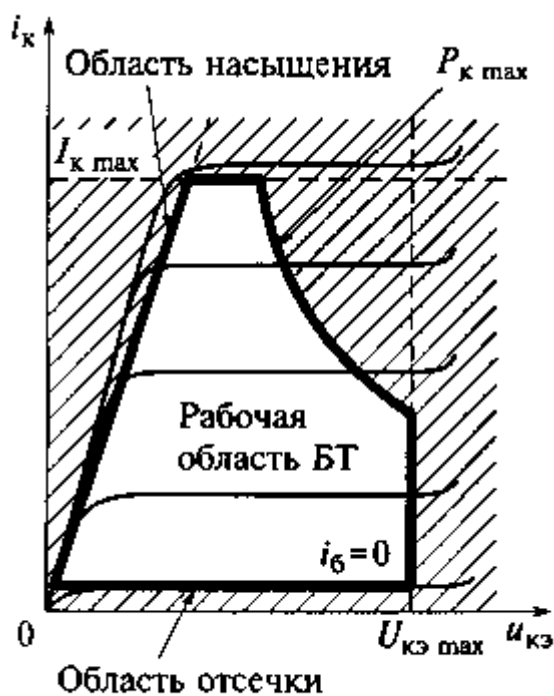


Рисунок 5 – рабочая зона транзистора

- область насыщения(I_k большое, но $U_{кэ}$ близкое к нулю)
- предельно допустимый ток коллектора($I_{к\max}$)
- область отсечки ($I_b=0$)
- предельно допустимое напряжение КЭ($U_{кэ\max}$)
- предельно допустимое значение мощности(рассеивание, $P_{к\max}$)

По итогу, РТ двигается линейно по нагрузочной линии, в зависимости от того какое R_n было выбрано. Выбрав оптимальное R_n , можно добиться максимального размаха. Иллюстрация на рис.6

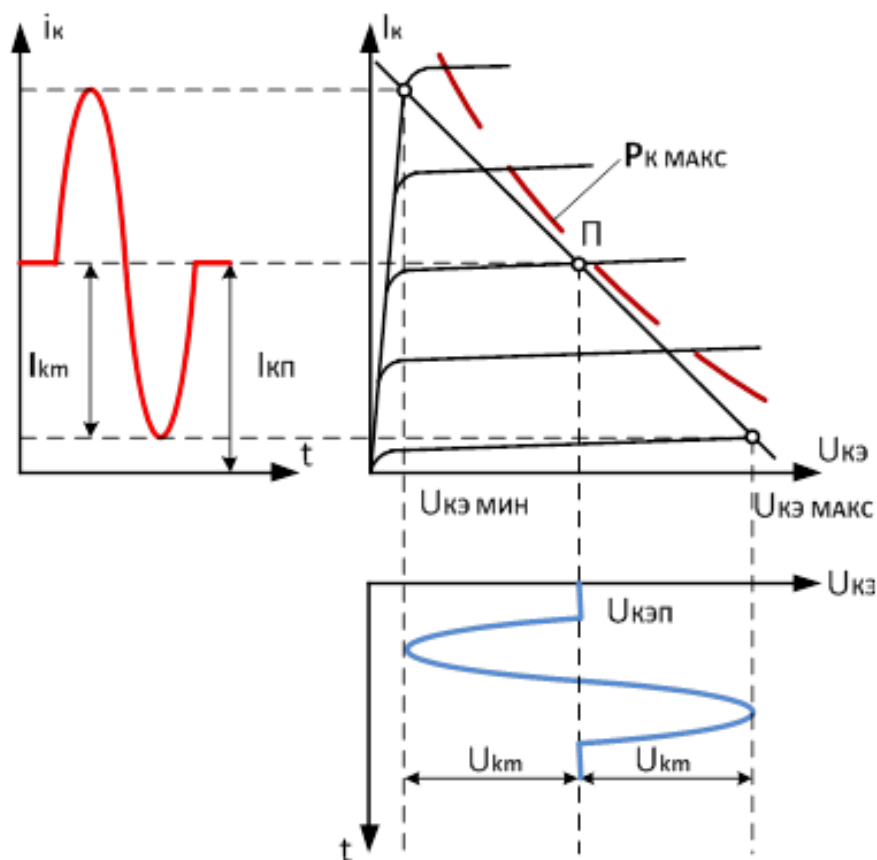


Рисунок 6 – иллюстрация максимального размаха

Выбранный транзистор BFR93A имеет предельно допустимое значение тока коллектора $I_c=35\text{мА}$ и напряжение $U_{кэ}=12\text{В}$. Следуя техническому заданию, максимальная мощность на выходе должна быть равна $P_{\text{max}} = 5 \text{ мВт}$.

Зная это можно, рассчитать диапазон изменения R_n . Значение $U_{кэ}$ было выбрано 5В, при условии что допуск 1В.

$$P = \frac{U_m^2}{2R}$$

$$R_{max} = \frac{U_m^2}{2P} = \frac{2^2}{2 * 5 * 10^{-3}} = 400 \text{ Ом}$$

$$R_{min} = \frac{2P}{I_m^2} = \frac{2 * 5 * 10^{-3}}{15^2 * 10^{-6}} = 44 \text{ Ом}$$

Теперь можно заняться подбором РТ. Узнав в каком диапазоне можно менять R_H , при $I_k=15\text{мА}$, ниже на рисунке представлены результаты моделирования, рис. 7

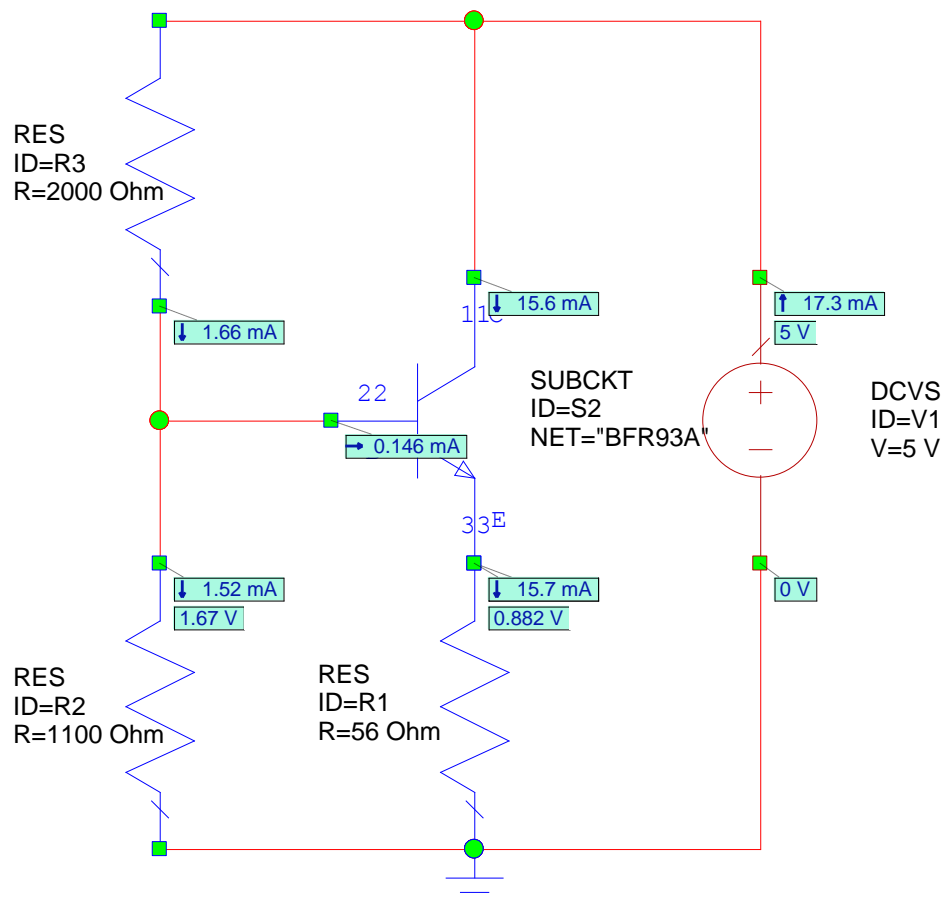


Рисунок 7 – результат нахождения рабочей точки

Резисторы R3 и R2 были выбраны высокоомными, чтобы обеспечить нужную разность потенциалов и получить 15 мА, ток коллектора много больше тока делителя.

Параллельный колебательный контур

В некоторых радиотехнических устройствах вместе с последовательными колебательными контурами применяют параллельные. Известно, что при параллельном подсоединении элементов складывать их сопротивления нельзя - разрешено только складывать проводимости. Точно также, как и для последовательного колебательного контура, существует частота, которая называется резонансной, на которой реактивные сопротивления (а значит и проводимости) катушки и конденсатора одинаковы. На ней общая проводимость параллельного колебательного контура без потерь становится нулем. Из этого следует, что на этой частоте колебательный контур имеет бесконечно большое сопротивление переменному току.

Добротность, для параллельного колебательного контура, у которого индуктивность, емкость и сопротивление включены параллельно, высчитывается по формуле(2):

$$Q = \frac{R\sqrt{C}}{L} \quad (2)$$

Когда контур работает, два раза за период колебаний, происходит энергетический обмен между катушкой и конденсатором. Энергия поочередно накапливается, то в виде энергии электрического поля заряженного конденсатора, то в виде энергии магнитного поля катушки индуктивности. В контуре протекает собственный контурный ток I_k , который превосходит по величине ток во внешней цепи I в Q раз. В случае контура без потерь, добротность которого теоретически бесконечна, значение контурного тока также будет бесконечно большой. Но на практике так не бывает. Как ни крути, качество элементов контура, их паразитные характеристики, электрические цепи, которые служат для подвода энергии и отбора энергии из контура, не позволят контурному току увеличиваться.

Настройка на центральную частоту

Следующим этапом проектирования будет настройка LC – контура на центральную частоту 60МГц. Схема, которая позволит промоделировать входное сопротивление в порту показана на рис.8

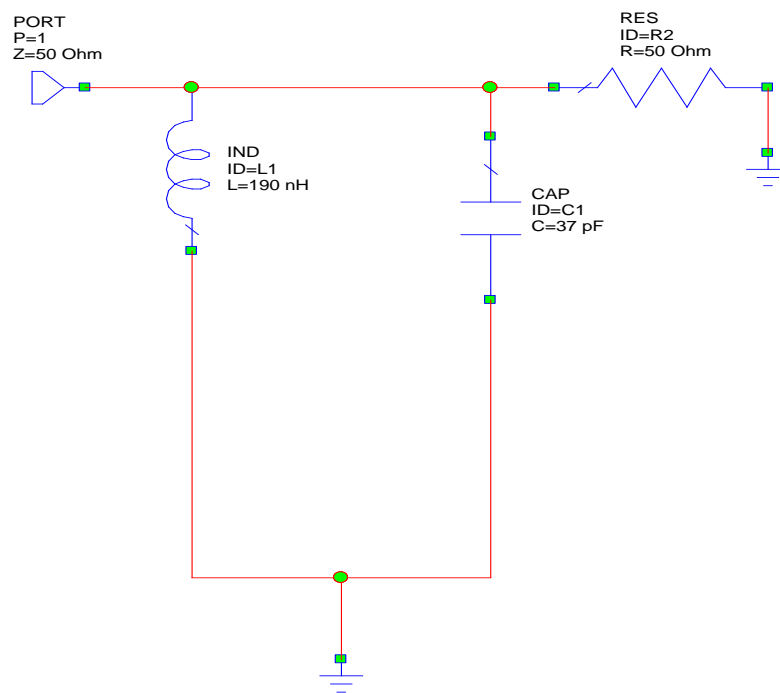


Рисунок 8 – схема LC – контура

Полученная характеристика представлена на рис. 9

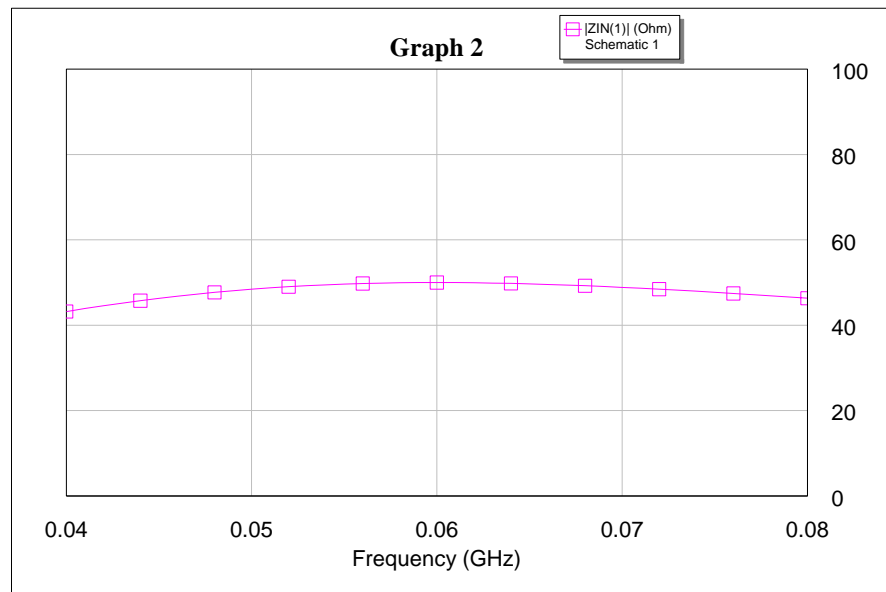


Рисунок 9 - входное сопротивление в порту

При изменении номиналов L и C существенно ничего не меняется, не достигается нужная избирательность. Демонстрация на рис.10

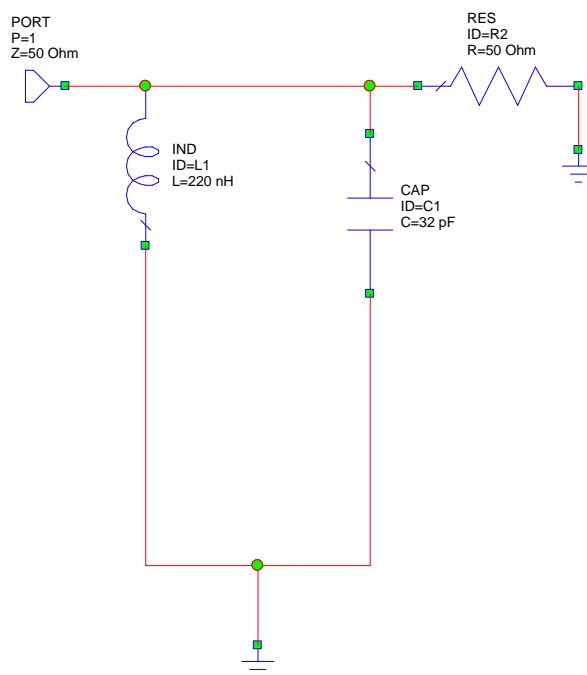


Рисунок 10 - схема LC – контура(другие номиналы)

Полученная характеристика представлена на рис. 11

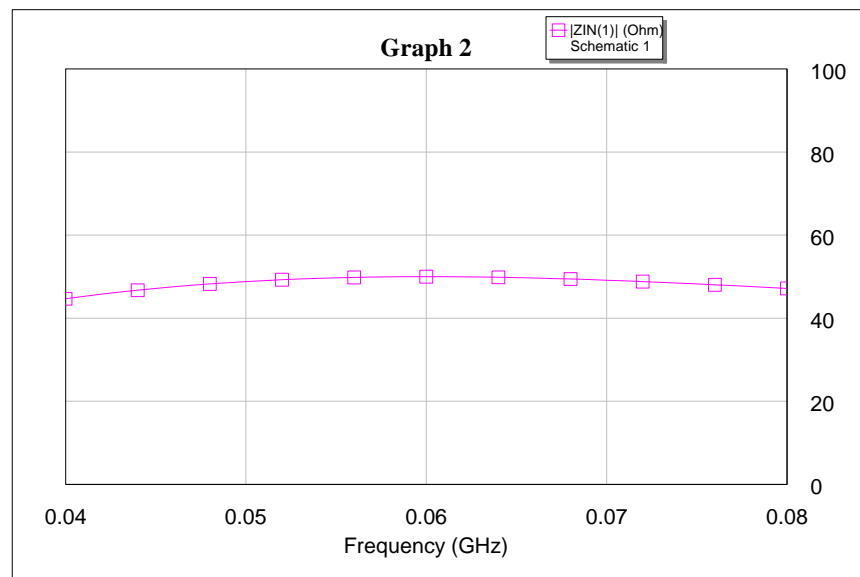


Рисунок 11 - входное сопротивление в порту(другие номиналы)

Чтобы получить нужную избирательность и настроить контур на центральную частоту 60МГц, нужно менять значения L и C пропорционально друг другу. Для этого была введена новая переменная k . Схема представлена на рис.12

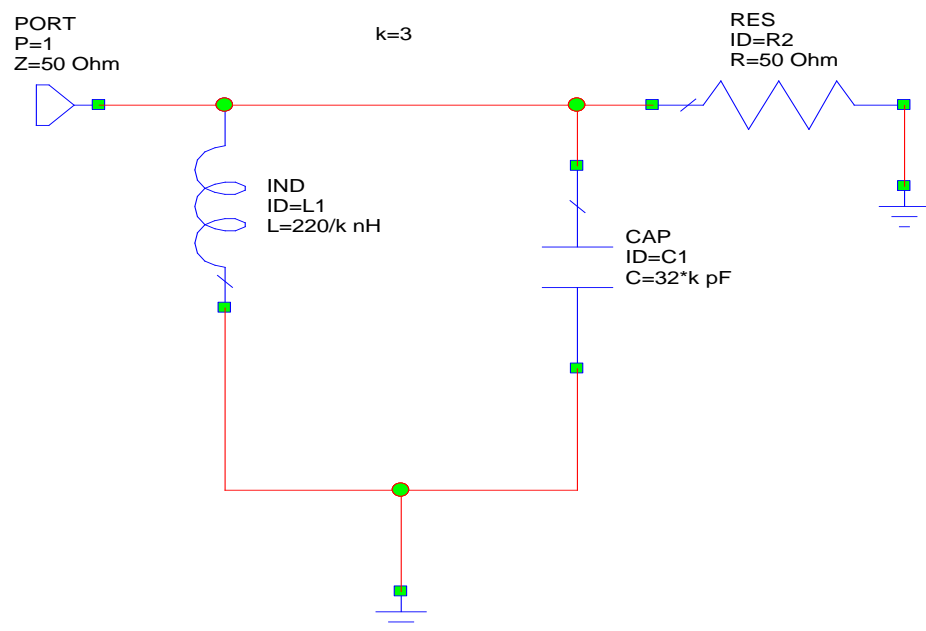


Рисунок 12- - схема LC – контура (с переменной k)

Результаты показаны на рис.13

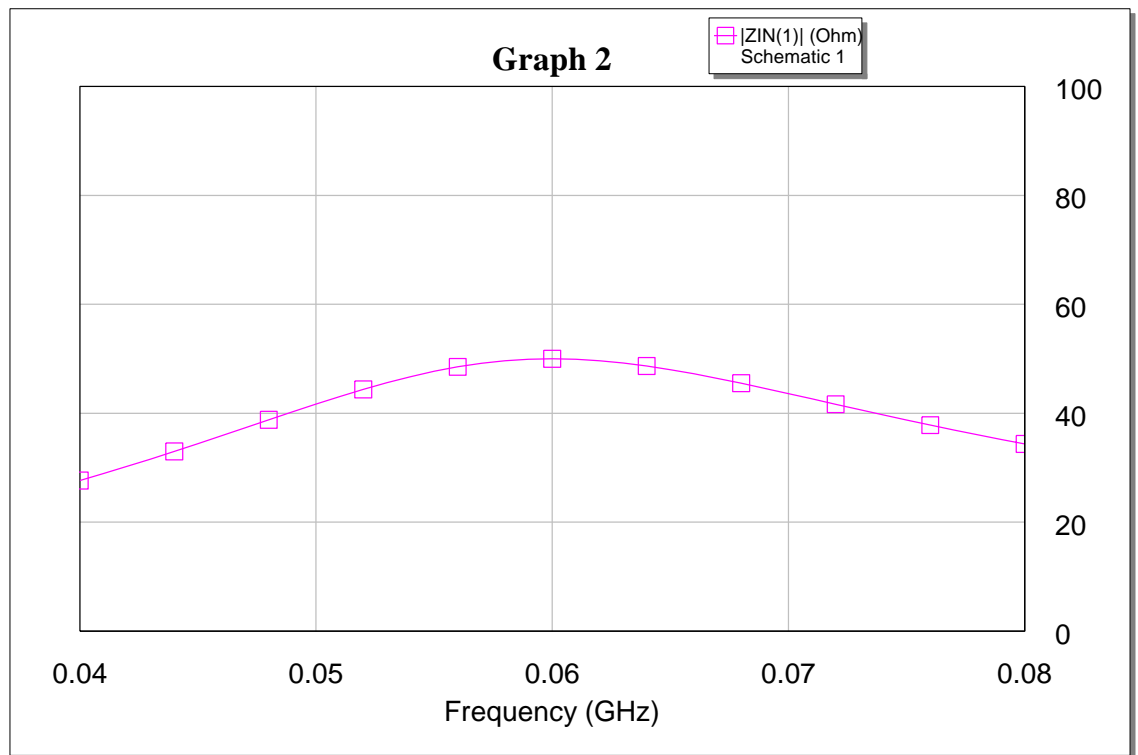


Рисунок 13 - входное сопротивление в порту(с переменной k)

Увеличивая значение k , можно добиться нужной избирательности.

Конечный результат показан на рис.14

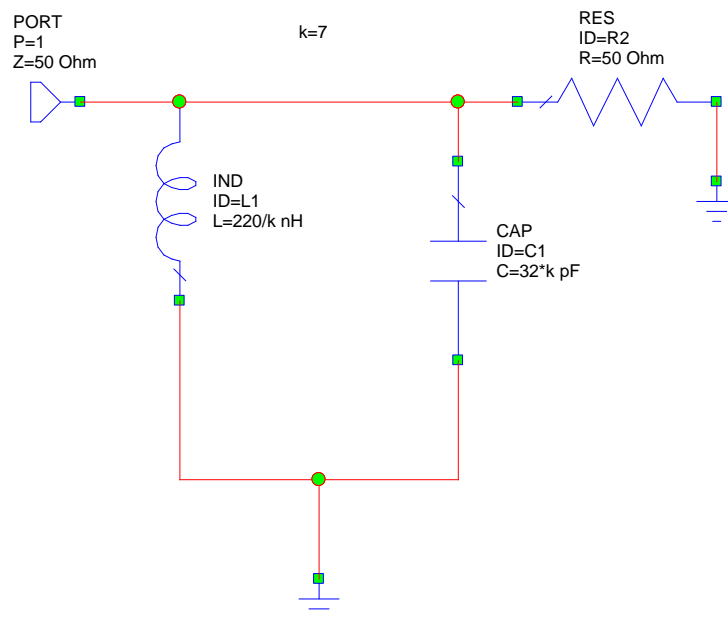


Рисунок 14- схема LC – контура (с переменной k , другое значение)

Результат показан на рис.15

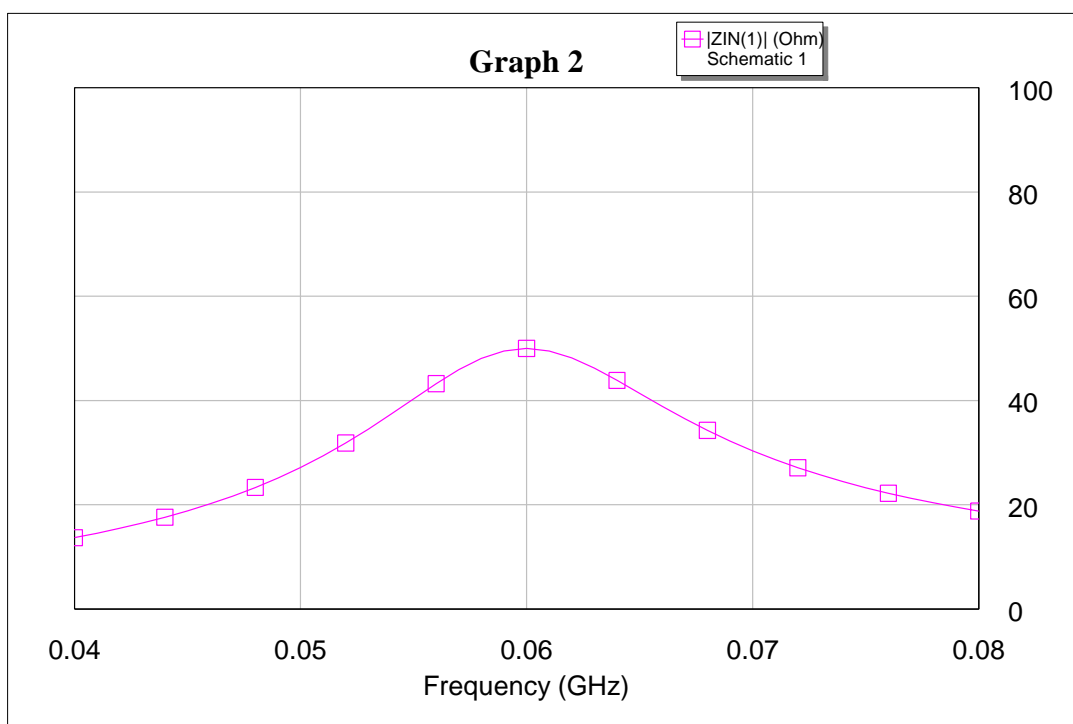


Рисунок 15 - входное сопротивление в порту(с переменной k , другое значение)

Моделирование однокаскадного усилителя

Собирая вместе настроенный на центральную частоту LC- контур и схему для нахождения рабочей точки, получаем усилитель. Результат схемы на рис.16

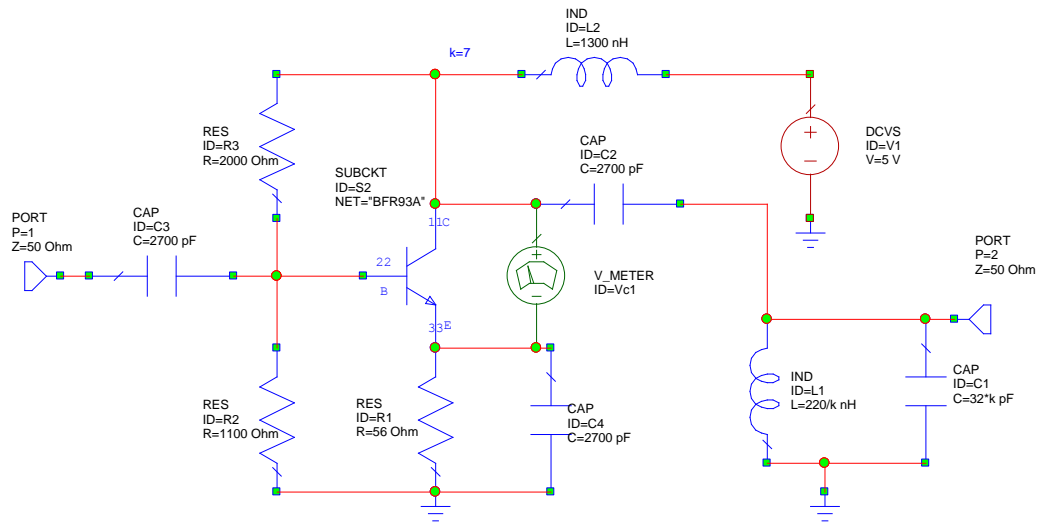


Рисунок 16 – усилитель

Разделительный конденсатор С3 разделяет питание устройства от входного тракта.

Конденсатор С2 нужен для того, чтобы катушка L1 не стала к.з по постоянному току

Чтобы R1 не влиял на ухудшение усиления, добавлен конденсатор С4. Он шунтирует резистор на рабочей частоте. Сопротивление конденсатора много меньше резистора.

Чтобы полезный сигнал шел в контур LC, добавлена индуктивность L2. Так как питание включено в схему параллельно нагрузке, L2 подсоединено последовательно с источником (на высоких частотах). Это обеспечивает высокое сопротивление и полезный сигнал с минимальными потерями попадает в контур. Номинал L2 должен быть примерно в десять раз больше сопротивления нагрузки, т.е больше 50 Ом в 5-10 раз.

Следующим этапом будет подбор номиналов L и C , в контуре LC , таким образом, чтобы добиться усиления в полосе пропускания 50-70 МГц, центральная частота 60 МГц.

Посмотрим, что будет при $L = 2.24 \text{ нГн}$, $C = 3471 \text{ пФ}$

Результат на рис.17

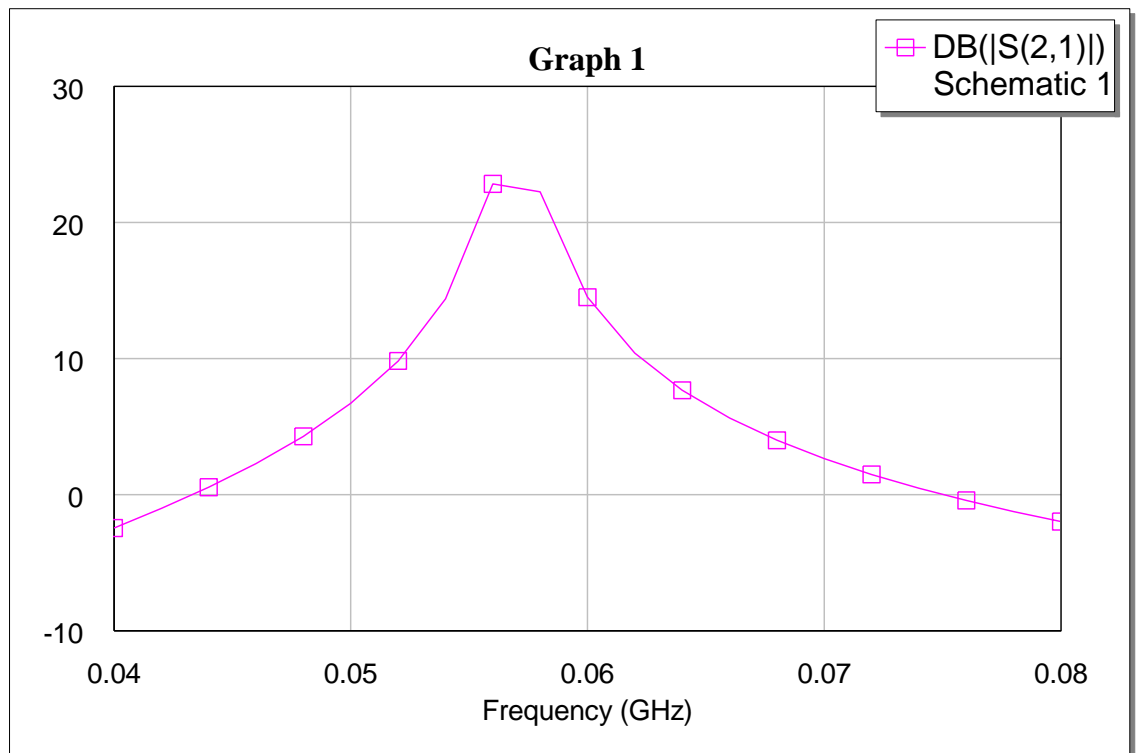


Рисунок 17 – частотная характеристика (с параметрами $L = 2.24 \text{ нГн}$, $C = 3471 \text{ пФ}$)

Посмотрим характеристику с параметрами $L=2.07\text{нГн}$, $C=3293\text{пФ}$

Результат на рис.18

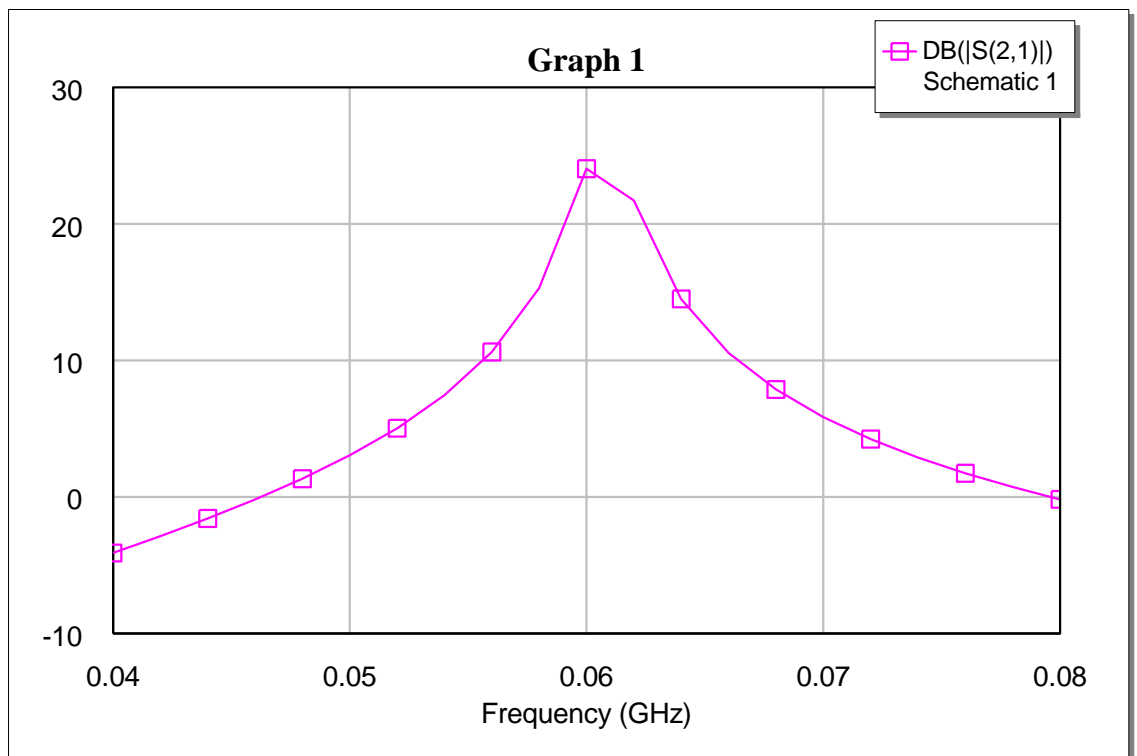


Рисунок 18 - частотная характеристика (с параметрами $L=2.07\text{нГн}$, $C=3293\text{пФ}$)

Из графиков видно, что меняя параметры L и C , добиться нужной избирательности не удастся. Чтобы решить эту задачу используют двухкаскадные усилители, настроенные одинаково, либо на разные частоты.

Одинаковая настройка контуров

Когда контуры всех каскадов усилителя промежуточной частоты настроены на промежуточную частоту, то результирующая полоса пропускания усилителя выходит меньше, чем у каждого каскада в отдельности, рис. 19

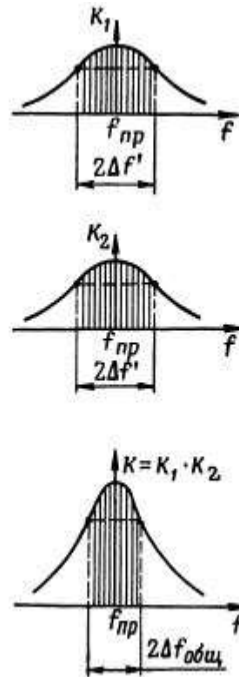


Рисунок 19 – частотные характеристики двухкаскадного УПЧ с одиночными контурами, которые настроены на одну частоту

Расчетная формула для полосы пропускания фильтра(3),

$$2df_{\text{общ}} = 2df' * \sqrt{\sqrt[n]{2} - 1} \quad (3)$$

Где $2df'$ – полоса пропускания одного каскада;

$2df_{\text{общ}}$ – полоса пропускания усилителя

Значение величины $\sqrt[n]{2} - 1$ для разных количествах каскадов приводится в табл. 2

Таблица 2 – значения для разного числа каскадов

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\sqrt[n]{2} - 1$	1	0,64	0,51	0,44	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25

Настройка контуров на одну частоту приведут к усилению на центральной частоте, но при этом будет узкая полоса пропускания. В нашем случае скорее подойдет различная настройка контуров, чтобы увеличить полосу пропускания.

Различная настройка контуров

Чтобы получить более широкую полосу пропускания УПЧ, нужно осуществить разную настройку смежных каскадов. Чаще используют УПЧ с «двойками» или «тройками» взаимно расстроенных каскадов. Контур первого каскада настраивают на частоту $f_{01} < f_{np}$, а контур второго каскада — на частоту $f_{02} > f_{np}$.

На рис.20 приведен метод настройки контуров «двойки» каскадов

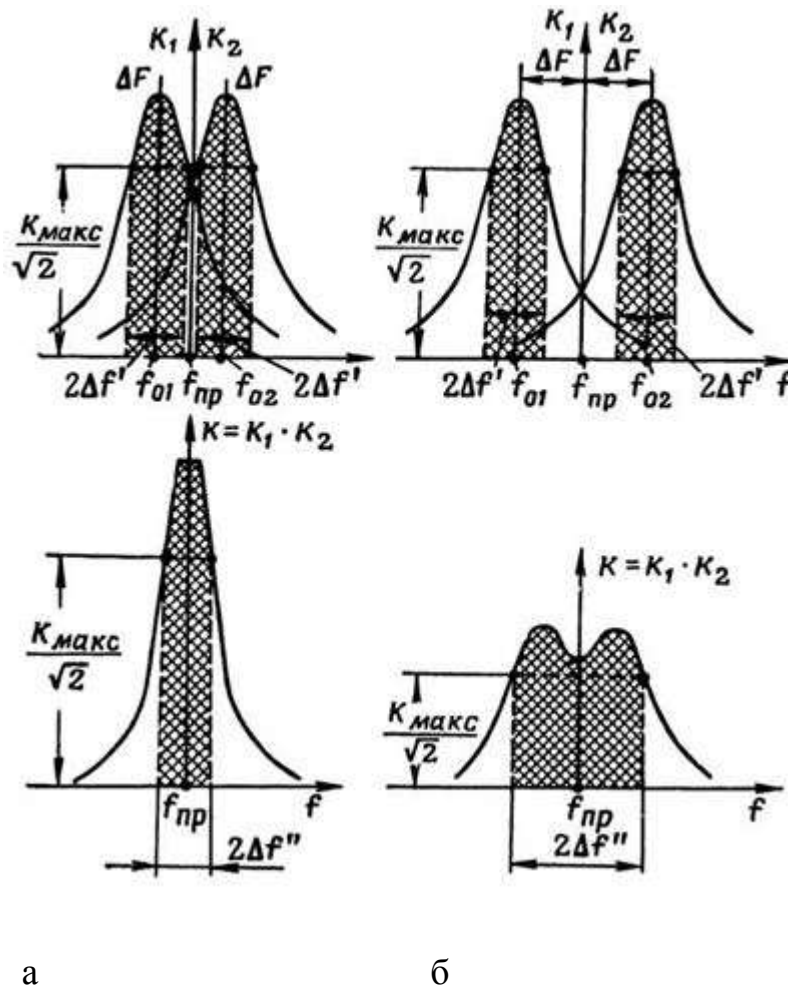


Рисунок 20 – частотные характеристики двух смежных каскадов УПЧ и результирующая характеристики «двойки» каскадов: а- расстройка контуров немного больше критической; б – расстройка контуров значительно больше критической

От величины расстройки dF зависит форма результирующей частотной характеристики. Частотная характеристика получается одnogорбой, если расстройка незначительна. Если же расстройку контуров сделать большой, то частотная характеристика окажется двугорбой.

Самое большое значение dF , при котором частотная характеристика еще одnogорбая, называют критической расстройкой. Значение критической расстройки почти равно половине полосы пропускания одного из контуров (если оба контура одинаковы).

Если один из следующих контуров усилителя настроить на промежуточную частоту приемника, то вершину частотной характеристики можно приблизить к прямой.

Моделирование двухконтурного каскада

Настроим оба контура на такие частоты, чтобы получить нужную полосу пропускания.

Схема двухконтурного каскада показана на рис.23.

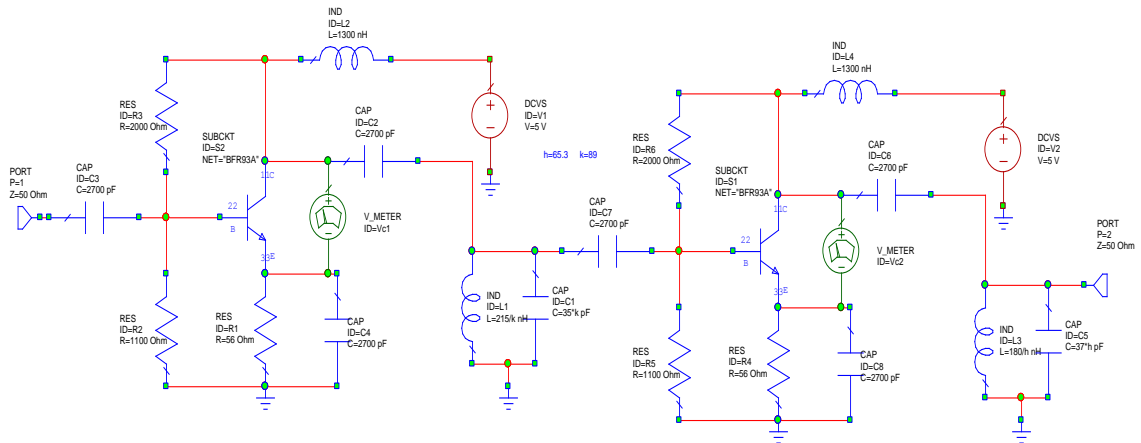


Рисунок 23 - двухконтурный каскад

Результирующая частотная характеристика этой схемы показана на рис.24

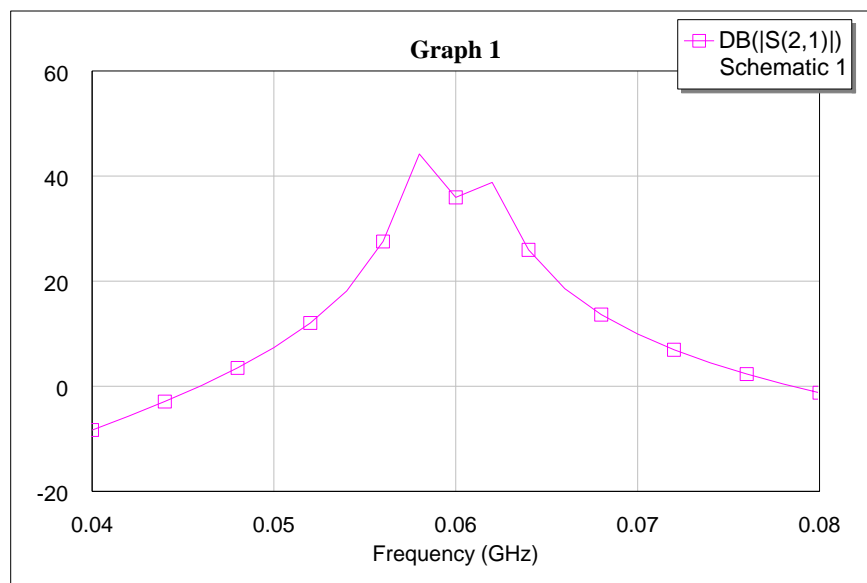


Рисунок 24 – частотная характеристика двухконтурного каскада

Меняя параметры k для первого контура и h для второго, можно добиться более гладкой кривой, но все же не с той избирательностью, что нужно. Результат на рис.25

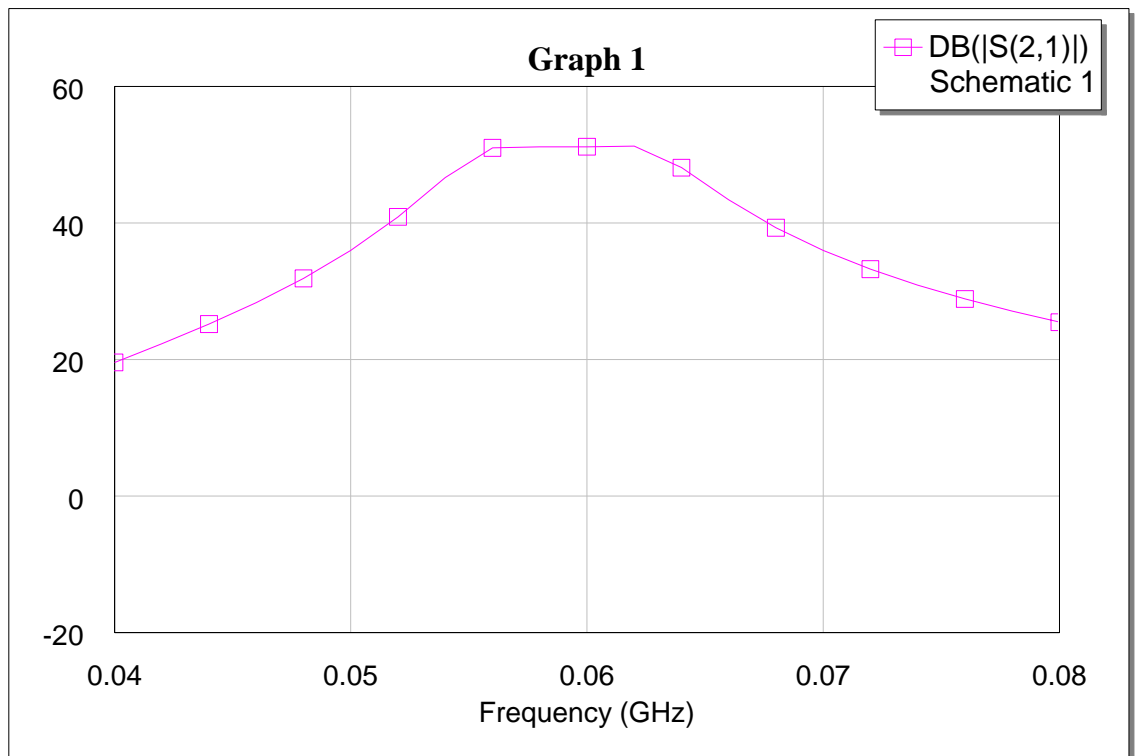


Рисунок 25 - частотная характеристика двухконтурного каскада
(измененные параметры k и h)

Чтобы добиться нужной полосы пропускания, потребуется большая расстройка каскадов относительно центральной частоты.

Измененная характеристика двухконтурного каскада на рис.28

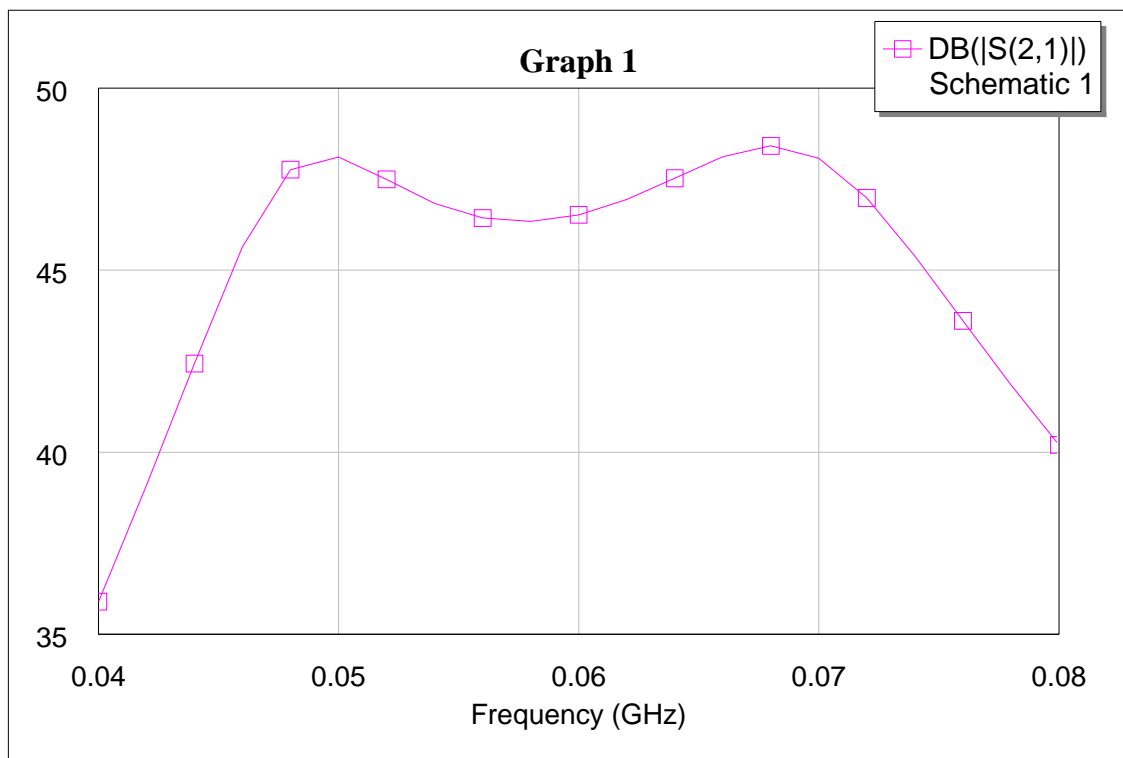


Рисунок 28 – результирующая характеристика “двойки”

Подбирая нужные значения k и h , можно добиться более широкой, нужной нам, полосы пропускания, рис.29

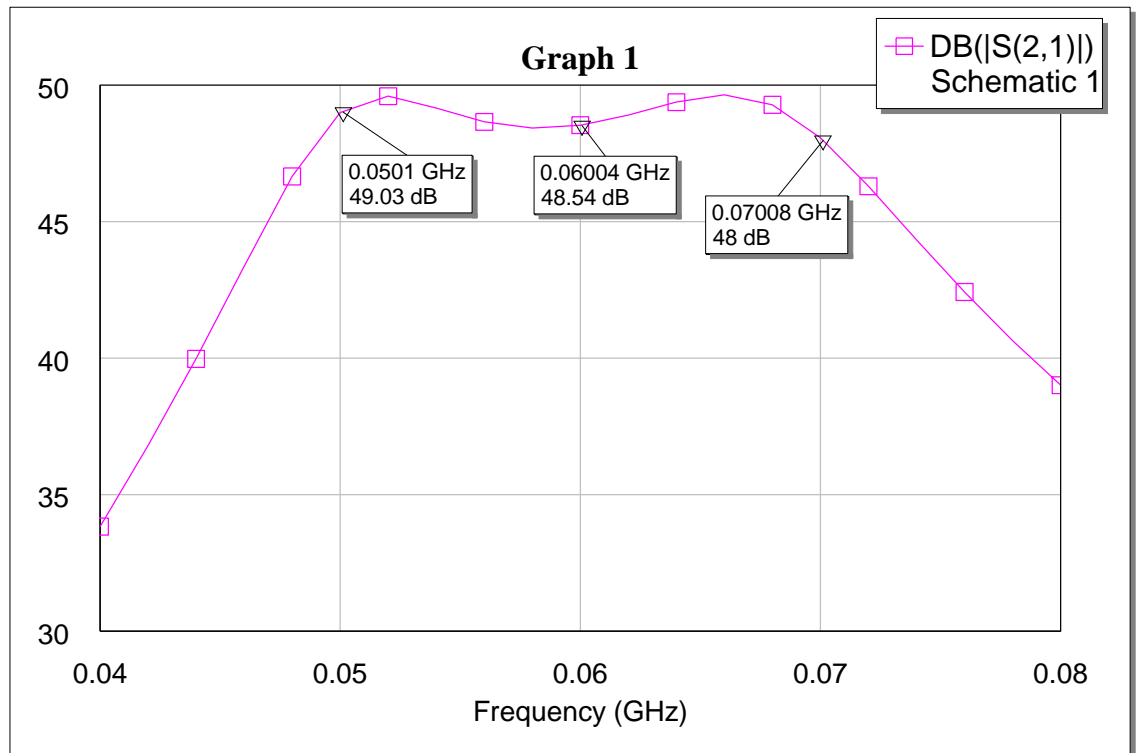


Рисунок 29 – результирующая характеристика “двойки” (с настроенными параметрами k и h)

Моделирование с реальным LC - контуром

После получения нужной нам избирательности, требуется заменить модели индуктивностей и емкостей в контурах LC на реальные, используемые в жизни. Т.к замена емкости к большим изменениям усиления не приведет, будет заменена только индуктивность. Реальные катушки предполагают наличие сопротивления, чтобы его узнать используется программа american technical ceramics. Подставив в программу нужные значения индуктивности и частоты, можно получить модель первой катушки, рис.30

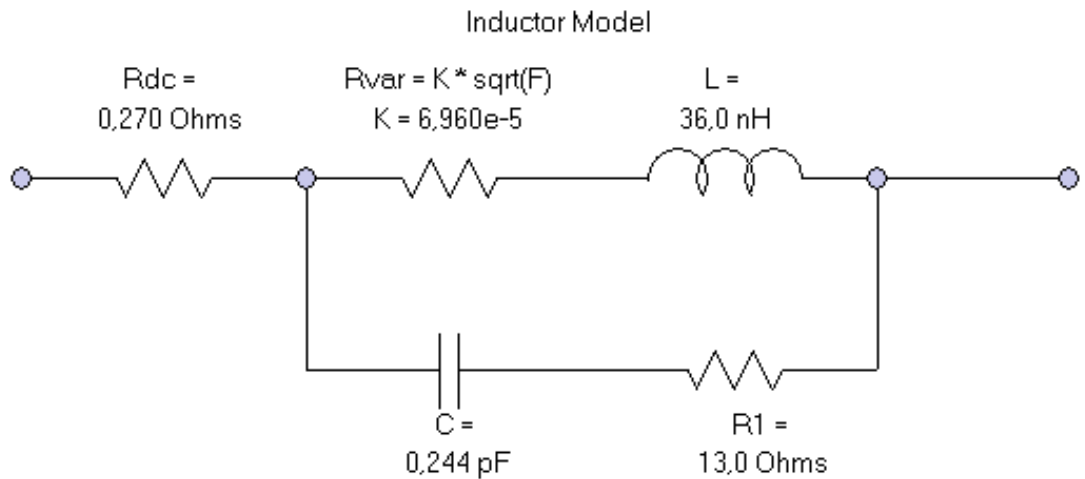


Рисунок 30 – модель 1-ой индуктивности

Модель второй катушки на рис.31

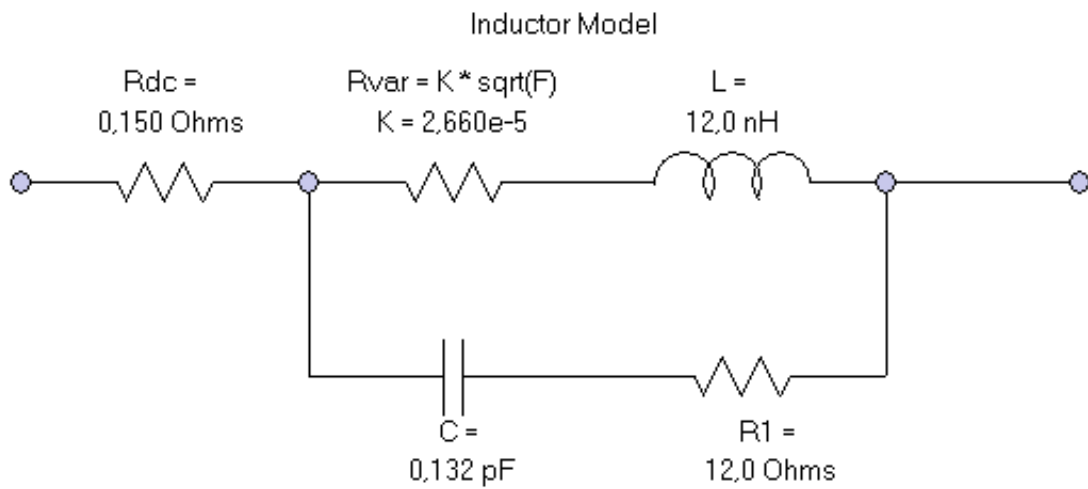


Рисунок 31 – модель 2-ой индуктивности

Подставляя найденные номиналы, получаем немного измененную кривую усиления, рис.32

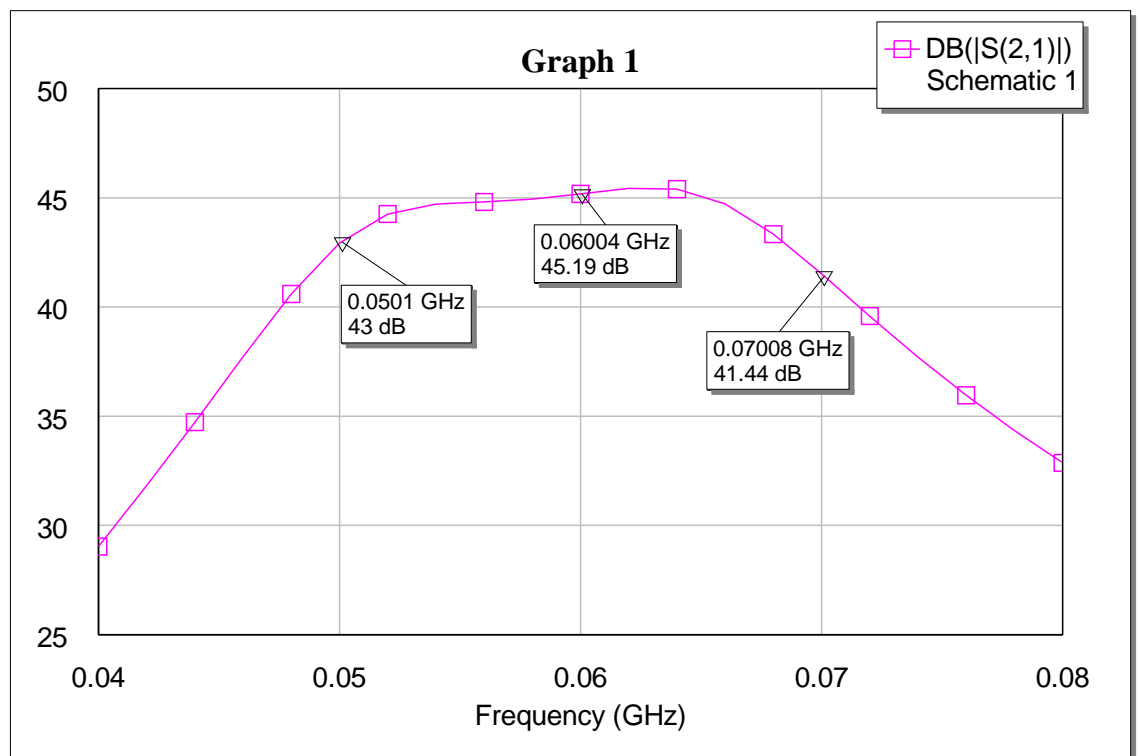


Рисунок 32 – кривая усиления (реальные номиналы)

Сравнивая две кривые усиления – с идеальными катушками и реальными, замечен небольшой спад в усилении. Это связано с тем, что реальные обладают неким сопротивлением. Но показатели усиления удовлетворяют требованиям.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ ОБОСНОВАНИЮ ВКР.

Расчет полных затрат при выполнении исследования

Продолжительность работ определяется расчетным путем с помощью формулы

$$t_{j0} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}$$

где t_{j0} - ожидаемая длительность j -й работы; t_{min} и t_{max} - наименьшая и наибольшая по мнению эксперта длительность работы. Время на все этапы разработки приведено в таблице 1. Продолжительность работ измеряется в человеко-часах

№	Наименование работы	Длительность работы, человеко-часы		
		t_{min}	t_{max}	t_0
1	Постановка задачи	5	7	5.8
2	Сбор литературы	3	5	3.8
3	Разбор в использовании программы AWR	4	6	4.8
4	Ознакомление с литературой	90	120	102
5	Составление ТЗ	2	3	2.4
6	Моделирование характеристик BFR93A	7	9	7.8
7	Нахождение рабочей точки усилителя	12	15	13.2
8	Исследование LC- контура	3	5	3.8

9	Моделирование однокаскадного усилителя	4	6	4.8
10	Моделирование двухкаскадного усилителя	3	4	3.4
11	Консультации	60	80	68
12	Оформление иллюстративного материала	10	15	12
Итого		193	275	231.8

Для учащегося за оплату труда в месяц берется заработная плата инженера, т.е 25000 рублей в месяц. 21 рабочий день*8часов=168 рабочих часов, в час 148,8 рублей.

№	Этапы и содержания выполняемых работ	Исполнитель	Трудоемк., t0, Человеко-часы	Ставка руб/часы
1	Постановка задачи	Руководитель	5.8	Руководитель – 208.3
2	Сбор литературы	Студент	3.8	Студент – 148.8
3	Разбор в использовании программы AWR	Студент	4.8	Студент – 148.8
4	Ознакомление с литературой	Студент	102	Студент – 148.8
5	Составление ТЗ	Руководитель	2.4	Руководитель

				– 208.3
6	Моделирование характеристик BFR93A	Студент	7.8	Студент – 148.8
7	Нахождение рабочей точки усилителя	Студент	13.2	Студент – 148.8
8	Исследование LC-контура	Студент	3.8	Студент – 148.8
9	Моделирование однокаскадного усилителя	Студент	4.8	Студент – 148.8
10	Моделирование двухкаскадного усилителя	Студент	3.4	Студент – 148.8
11	Консультации	Руководитель, студент	68	Руководитель – 208.3 Студент – 148.8
12	Оформление иллюстративного материала	Студент	12	Студент – 148.8

Основываясь на данные о трудоемкости выполняемых работ и ставки за час, каждого из исполнителей, нужно определить расходы на оплату за месяц исполнителей и отчислений на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование.

Расходы на основную заработную плату исполнителей определяются по формуле:

$$Зосн.з/пл = \sum_{i=1}^k T_i \times C_i$$

где – $Зосн.з/пл$ - расходы на основную заработную плату исполнителей, (руб.); k – количество исполнителей; T_i - время, затраченное i -м исполнителем на проведение исследования (дни или часы); C_i - ставка i -го исполнителя (руб./день или руб./час) .

В итоге затраты на основную заработную плату исполнителей составляют 49144.14 рублей

Расходы на дополнительную заработную плату исполнителей определяются по формуле:

$$Здопл/пл = Зосн.з/пл \times \frac{H_{доп}}{100}$$

где $Здопл/пл$ - расходы на дополнительную заработную плату исполнителей

(руб.); $Зосн.з/пл$ - расходы на основную заработную плату исполнителей (руб.); $H_{доп}$ - норматив дополнительной заработной платы (%). При выполнении расчетов в ВКР норматив дополнительной заработной платы принимаем равным 14%. Расходы на дополнительную заработную плату исполнителей составляют 6880.17 рубля.

Отчисления на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование с основной и дополнительной заработной платы исполнителей определяются по формуле:

$$Зсоц = Зосн.з/пл + Здопл.з/пл \times \frac{H_{соц}}{100}$$

где $Зсоц$ - отчисления на социальные нужды с заработной платы (руб.); $Зосн.з/пл$ - расходы на основную заработную плату исполнителей (руб.); $Здопл.з/пл$ - расходы на дополнительную заработную плату исполнителей (руб.); $H_{соц}$ - норматив отчислений на страховые взносы на

обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование (%).

Норматив отчислений на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование составляет 30 % на 2014 год.

Отчисления на страховые взносы на обязательное социальное, пенсионное и медицинское страхование с основной и дополнительной заработной платы исполнителей составляют 51208.2 рубля.

Определение расходов на сырье и материалы

$$З_m = \sum_{l=1}^L G_l \times Ц_l \times \left(1 + \frac{Н_{т.з}}{100}\right)$$

где – $З_m$ затраты на сырье и материалы (руб.); l – индекс вида сырья или материала; G_l – норма расхода l -того материала на единицу продукции (ед.); $Ц_l$ – цена приобретения единицы l -го материала (руб./ед.); $Н_{т.з}$ – норма транспортно-заготовительных расходов.

При выполнении расчетов в ВКР норму транспортно-заготовительных расходов ($Н_{т.з}$) принимаем равной 10%.

Все данные сведены в табл.3.

Таблица 3 - Материалы

Наименование	Норма расхода на единицу продукции, шт.	Цена, руб./шт.	Сумма на единицу продукции, руб.
Набор канцелярских изделий	1	300	300
Офисная бумага SvetoCopy	1	400	400
Картридж для печати	1	2150	2150

$$З_n = (300 + 400 + 2150) \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 3135 \text{ руб.}$$

Определение расходов на содержание и эксплуатацию оборудования

Основным оборудованием, которое было использовано для работы над проектом, является ноутбук ACER с потребляемой мощностью 90 Ватт. Вторым оборудованием является принтер HP LaserJet 2300 с потребляемой мощностью 1700 Ватт в режиме работы. Затраты на эксплуатацию и содержания оборудования можно оценить исходя из времени использования оборудования и расчетной себестоимости одного машино-часа. Стоимость 1 кВт электроэнергии по тарифу составляет 4.29 руб./кВт · час. Согласно плану, время работы составило 232 часа. Учитывая, что ноутбук использовался в течение всего времени работы, а принтер HP LaserJet 2300 один час, затраты на содержание и эксплуатацию оборудования составили

$$З_{зо} = 90 \cdot 10^{-3} \cdot 4.29 \cdot 232 + 1700 \cdot 10^{-3} \cdot 4.29 \cdot 1 = 96.8 \text{ рубля}$$

Определение амортизационных отчислений

Амортизационные отчисления по ноутбуку и принтеру за год составили

$$A_n = 25000 \cdot \frac{33.3}{100} = 8325 \text{ руб.}$$

$$A_{\text{МФУ}} = 30000 \cdot \frac{33.3}{100} = 9990 \text{ руб.}$$

Первое основное средство я использую 3 месяца, второе основное средство используется 1 месяц.

Тогда амортизационные отчисления за это время составили

$$A_{\text{н вкр}} = 8325 \cdot \frac{3}{12} = 2081,2 \text{ руб.}$$

$$A_{\text{МФУ вкр}} = 9990 \cdot \frac{1}{12} = 832,5 \text{ руб.}$$

Определение накладных расходов

$$З_{\text{н}} = (49144.14 + 3135) \cdot \left(\frac{35}{100}\right) = 18297.67 \text{ руб.}$$

Для расчета совокупной величины затрат, связанных с проведением исследования, все проведенные расчеты оформлены в табл.4.

Таблица 4 - Затраты на ВКР

№ п/п	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Расходы на оплату труда	49144,14
2	Отчисления на социальные службы	51208.2
3	Материалы и покупные товары	3135
4	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	96,8
5	Амортизационные отчисления	2913,7
6	Накладные расходы	18297.67
ИТОГО затрат		124795.51

В настоящее время обычно вместо транзисторов используют микросхемы широкополосных усилителей и ПАВ-фильтры, которые стоят дороже. Со стороны экономической части наш проект оказался более выгоден, это достигнуто, за счет быстрой работы и минимальным затратам на расходы.

Заключение

В работе рассмотрено моделирование транзисторного УПЧ. Был выбран подходящий транзистор, найдена рабочая точка, рассчитаны номиналы катушек и индуктивностей. Так же были промоделированы одноконтурные и двухконтурные усилители. При моделировании исключительно на одном контуре, не удалось добиться нужного усиления в полосе пропускания. Далее использовался двухконтурный каскад, настроенный на разные частоты относительно центральной частоты. После нахождения оптимального усиления в нужной нам полосе, были заменены катушки с идеальных на реальные, обладающие неким сопротивлением. В итоге полученная кривая полностью удовлетворяет требованиям проекта.

Вывод, который можно сделать по работе: если требуется усиление сигнала на центральной частоте с широкой полосой пропускания, то имеет смысл использовать многокаскадные усилители. При нахождении рабочей точки стоит учитывать рабочую зону транзистора и выбирать ее расположение так, чтобы получить оптимальное усиление по току и напряжению.

Список использованной литературы:

1. Левичев В.Г. Радиопередающие и радиоприемные устройства. Изд. 3-е, переработ. И дополн. М., Воениздат, 1974. 510 с.(Основы радиотехники и радиолокации).
2. Клич С.М., Кривенко А..С., Носикова Г.Н. Проектирование радиоприемных устройств. Под ред .А.П.Сиверса. Учебное пособие для вузов, 1976.
3. Кононович Л.М. Современный радиовещательный приемник. – М.: Радио и связь, 1986. – 144 с., ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 1098)
4. Павлов В.Н, Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов – 2-е изд., 2001. – 320с.
5. Генераторы высоких и сверхвысоких частот / Алексеев О.В., Головков А.А., Митрофанов А.В, Полевой В.В, Соловьев А.А. – М.: Высшая школа, 2003