

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
«РОСТОВСКИЙ-НА-ДОНУ КОЛЛЕДЖ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ,
ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»
(ГБПОУ РО «РКРИПТ»)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ОП.10 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ**

специальность:

11.02.17 Разработка электронных устройств и систем

Квалификация выпускника:

техник

Форма обучения: очная

**Ростов-на-Дону
2023**

СОГЛАСОВАНО

Начальник методического отдела
Н.В. Вострякова
«18» апреля 2023г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
по учебно-методической работе
С.А. Будасова
«18» апреля 2023 г.

ОДОБРЕНО

Цикловой комиссией
технического обслуживания
радиоэлектронной техники
(протокол № 8 от «01» февраля 2023г.)
Председатель
В.Ю. Махно

Методические указания по выполнению практических работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.10 Радиотехнические цепи и сигналы для специальности 11.02.17 Разработка электронных устройств и систем.

Разработчик:

Анисимова Н.Е. - преподаватель высшей квалификационной категории ГБПОУ РО «РКРИПТ».

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	5
Лабораторное занятие № 1. Измерение параметров амплитудно-модулированного сигнала	9
Лабораторное занятие № 2. Исследование спектра частотно-модулированного сигнала.....	18
Лабораторное занятие № 3. Исследование последовательного контура...	26
Лабораторное занятие № 4. Исследование параллельного контура.....	34
Практическое занятие № 1. Влияние коэффициента включения на форму АЧХ и параметры параллельного контура.....	42
Лабораторное занятие № 5. Способы настройки связанных контуров.....	51
Лабораторное занятие № 6. Исследование влияния коэффициента связи на форму резонансных кривых и полосу пропускания связанных контуров	57
Лабораторное занятие № 7. Исследование фильтров нижних и верхних частот типа «К»	65
Лабораторное занятие № 8. Исследование полосового и заграждающего фильтров типа К».....	72
Список литературы.....	79

Введение

Лабораторные и практические занятия по учебной дисциплине ОП.10 Радиотехнические цепи и сигналы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки и направлены на подтверждение теоретических положений и формирование практических умений и практического опыта:

- У 1 - измерять основные характеристики и определять параметры линейных радиотехнических цепей с сосредоточенными параметрами
- У 2 - рассчитывать параметры и характеристики радиотехнических цепей для прохождения сигнала с заданным спектром
- ПО 1 - настраивать и регулировать параметры радиотехнических систем, устройств и блоков

Лабораторные и практические занятия относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами лабораторных и практических работ направлено:

- на обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;
- формирование умений применять полученные знания на практике;
- выработку при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных (решать задачи и др.), необходимых в последующей учебной деятельности.

Содержанием лабораторных работ по дисциплине являются экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения измерений. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки работы с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Содержанием практических занятий по дисциплине являются решение разного рода задач, в том числе профессиональных (выполнение вычислений, расчетов, работа с нормативными документами, инструктивными материалами, справочниками).

Содержание практических, лабораторных занятий охватывают весь круг профессиональных умений, на подготовку к которым ориентирована данная дисциплина, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются практикой по профилю специальности и преддипломной практикой.

Лабораторные и практические занятия проводятся в специально оборудованных учебных лабораториях. Продолжительность занятия – не менее 2-х академических часов. Необходимыми структурными элементами занятия, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения работы.

Все студенты, связанные с работой в лаборатории, обязаны пройти инструктаж по безопасному выполнению работ, о чем расписываются в журнале инструктажа по технике безопасности.

Выполнению лабораторных и практических работ предшествует проверка знаний студентов, их теоретической готовности к выполнению задания.

Лабораторные и практические работы студенты выполняют под руководством преподавателя. При проведении лабораторных и практических занятий учебная группа может делиться на подгруппы численностью не менее 8 человек. Объем заданий для лабораторных и практических занятий спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством студентов.

Формы организации работы обучающихся на лабораторных работах и практических занятиях: групповая и индивидуальная.

При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 – 3 человека. При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Отчет по практической и лабораторной работе представляется в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практической, лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме ответов обучающегося на вопросы преподавателя по выполненной работе.

Оценки за выполнение лабораторных работ и практических занятий могут выставляться по пятибалльной системе или в форме зачета и учитываться как показатели текущей успеваемости студентов.

Критерии оценки лабораторных, практических работ.

Критерии оценки наблюдения за выполнением лабораторной работы:

- **оценка «отлично»** выставляется, если в ходе выполнения лабораторной работы обучающийся соблюдает порядок выполнения работы согласно методическим указаниям, проявляет самостоятельность, знание измерительных приборов и умение пользоваться ими, соблюдает требования правил техники безопасности;

- **оценка «хорошо»** выставляется, если обучающийся не всегда проявляет самостоятельность, но умеет пользоваться измерительными приборами, соблюдает требования правил техники безопасности;

- **оценка «удовлетворительно»** выставляется, если обучающийся не всегда проявляет самостоятельность при выполнении лабораторной работы, не всегда умеет пользоваться измерительными приборами, соблюдает требования правил техники безопасности;

- **оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если обучающийся не проявляет самостоятельности при выполнении работы, не умеет пользоваться измерительными приборами.

Критерии оценки выполнения отчета и защиты лабораторной работы:

- **оценка «отлично»** выставляется, если даны правильные ответы на все вопросы в пособии по лабораторной работе, правильно оформлен отчет, все расчеты выполнены без ошибок, сделаны правильные выводы в отчете;

- **оценка «хорошо»** выставляется, если даны правильные ответы не на все вопросы в пособии по лабораторной работе, правильно оформлен отчет, расчеты выполнены с незначительными математическими ошибками, не по всем предложенным вопросам в отчете сделаны выводы;

- **оценка «удовлетворительно»** выставляется, если даны правильные ответы не на все вопросы в пособии по лабораторной работе, отчет оформлен правильно, расчеты сделаны с грубыми ошибками, выводы в отчете неполные;

- **оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если не даны правильные ответы на вопросы в пособии по лабораторной работе, отчет оформлен с ошибками, расчеты не сделаны, выводы в отчете не сделаны.

Критерии оценки практических работ обучающихся

- **оценка «отлично»** выставляется, если даны правильные ответы на все вопросы в пособии по практической работе, правильно оформлен отчет, все расчеты выполнены без ошибок, сделаны правильные выводы в конце отчета;

- **оценка «хорошо»** выставляется, если не даны правильные ответы на три вопроса в пособии по практической работе, правильно оформлен отчет, расчеты выполнены с небольшими математическими ошибками, не по всем предложенным вопросам сделаны выводы в отчете;

- **оценка «удовлетворительно»** выставляется, если не даны правильные ответы на 5-6 вопросов в пособии по практической работе, отчет оформлен правильно, расчеты сделаны с грубыми математическими ошибками, выводы в отчете неполные;

- **оценка «неудовлетворительно»** выставляется, если не даны правильные ответы на вопросы в пособии по практической работе, отчет оформлен с ошибками, расчеты не сделаны, выводы в отчете не сделаны.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Измерение параметров амплитудно-модулированных сигналов

1. Цель занятия

Исследовать временные диаграммы и спектр АМ-сигнала и научиться измерять параметры амплитудно-модулированных сигналов.

2. Краткие теоретические сведения

Амплитудная модуляция – это процесс изменения амплитуды несущего сигнала по закону управляющего сигнала.

Сигнал, который получается в результате амплитудной модуляции, называется амплитудно-модулированным.

В процессе амплитудной модуляции амплитуда несущего сигнала получает приращение, изменяющееся по закону управляющего сигнала

Коэффициентом модуляции (m) называется величина, которая показывает, какую долю составляет максимальное приращение амплитуды несущего сигнала в процессе амплитудной модуляции от амплитуды несущего сигнала.

$$m = \frac{\Delta U}{U_m} \quad (1)$$

где ΔU – максимальное приращение амплитуды несущего сигнала в процессе амплитудной модуляции;

U – амплитуда несущего сигнала.

Коэффициент модуляции измеряется в размах и в процентах (%) и изменяется в пределах

$$0 < m \leq 1.$$

При $m > 1$ возникает перемодуляция.

Перемодуляция приводит к искажению сигнала, поэтому такой режим работы модулятора не применяется.

Временная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала чистым тоном

(гармоническим сигналом) изображена на рис. 1.

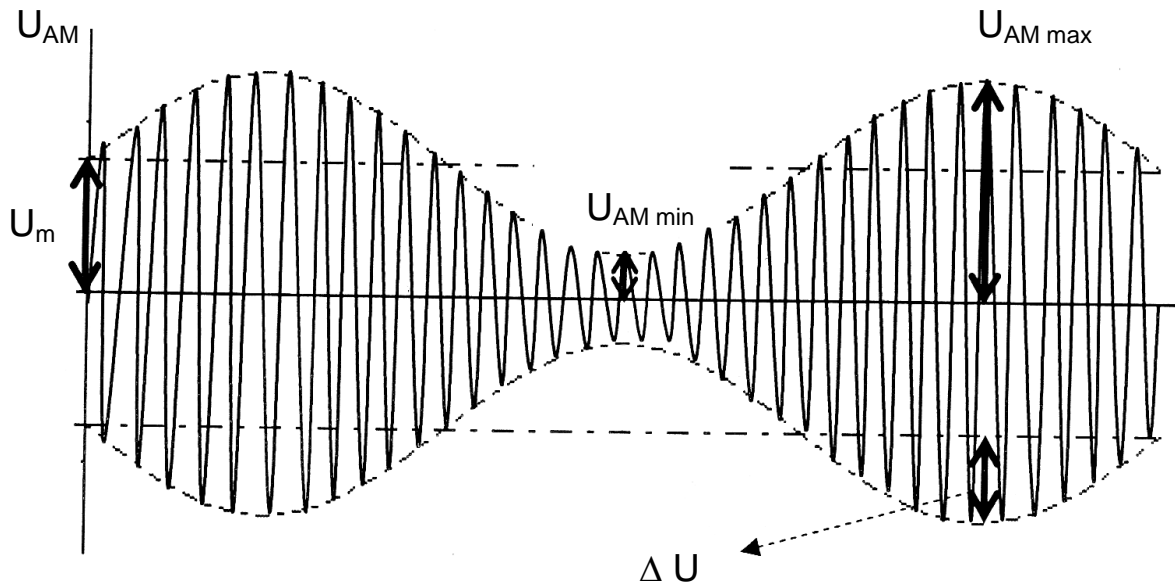


Рис.1

Максимальная амплитуда АМ-сигнала рассчитывается по формуле:

$$U_{AM \max} = U_m (1 + m). \quad (2)$$

Минимальная амплитуда АМ-сигнала рассчитывается по формуле:

$$U_{AM \min} = U_m (1 - m).$$

(3)

Зная максимальную и минимальную амплитуду АМ-сигнала, можно рассчитать коэффициент модуляции по формуле:

$$m = \frac{U_{AM \max} - U_{AM \min}}{U_{AM \max} + U_{AM \min}}. \quad (4)$$

Выражение для мгновенного значения напряжения амплитудно-модулированного сигнала:

$$u_{AM}(t) = U_m \sin \omega t + \frac{mU_m}{2} \sin(\omega + \Omega)t + \frac{mU_m}{2} \sin(\omega - \Omega)t. \quad (5)$$

В результате амплитудной модуляции чистым тоном получается сложный негармонический сигнал, состоящий из трёх гармонических колебаний:

- несущего колебания с амплитудой U_m и частотой ω ;
- верхнего бокового (в.б.) колебания с амплитудой $\frac{mU_m}{2}$ и частотой $\omega + \Omega$;
- нижнего бокового (н.б.) колебания с амплитудой $\frac{mU_m}{2}$ и частотой $\omega - \Omega$.

Все составляющие в спектре АМ-сигнала высокочастотные.

Спектральная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала при амплитудной модуляции чистым тоном представлена на рис.2

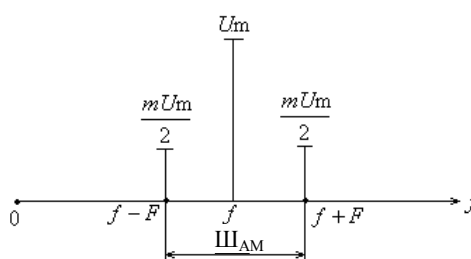


Рис. 2

Шириной спектра амплитудно-модулированного сигнала ($\text{Ш}_{\text{АМ}}$) называется диапазон частот, в котором расположены все спектральные составляющие амплитудно-модулированного сигнала.

При амплитудной модуляции чистым тоном ширина спектра амплитудно-модулированного сигнала равна удвоенной частоте управляющего сигнала:

$$\text{Ш}_{\text{АМ}} = 2F \quad (6)$$

3. Контрольные вопросы

- 3.1 Дайте определение амплитудной модуляции.
- 3.2 Как называется сигнал, который получается в результате амплитудной модуляции?
- 3.3 Что значит АМ чистым тоном?
- 3.4 Как изменяется амплитуда несущего сигнала в процессе АМ?
- 3.5 Дайте определение коэффициента модуляции.
- 3.6 Напишите формулу для коэффициента модуляции.
- 3.7 В каких единицах измеряется коэффициент модуляции?
- 3.8 В каких пределах изменяется коэффициент модуляции?
- 3.9 Чему равна максимальная амплитуда АМ-сигнала?
- 3.10 Чему равна минимальная амплитуда АМ-сигнала?
- 3.11 Чему равна ширина спектра АМ-сигнала при АМ чистым тоном?
- 3.12 От чего зависит ширина спектра АМ-сигнала?

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-151.
- 4.2 Осциллограф С1-65А
- 4.3 Генератор ГЗ-112
- 4.5 Анализатор спектра СК4-59

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 3)

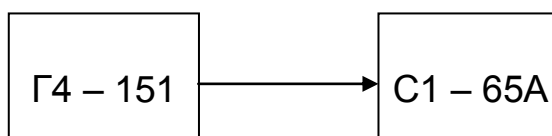


Рис. 3

- 5.2 Включить генератор и осциллограф.

- 5.3 На генераторе Г4 – 151 установить
 - внутреннюю модуляцию (частота управляющего сигнала 15 кГц).
 - частоту несущей 20МГц.
 - коэффициент модуляции 40%.
- 5.4 По осциллограмме определить максимальную $U_{AM\ max}$ и минимальную $U_{AM\ min}$ амплитуду АМ-сигнала.
- 5.5 По результатам измерений рассчитать коэффициент модуляции и сравнить его с заданным.
- 5.6 По результатам измерений построить временную диаграмму АМ-сигнала.
- 5.7 Изменяя коэффициент модуляции, по осциллограмме сделать вывод о влиянии коэффициента модуляции на амплитуду АМ-сигнала.
- 5.8 Собрать схему измерений (рис.4).

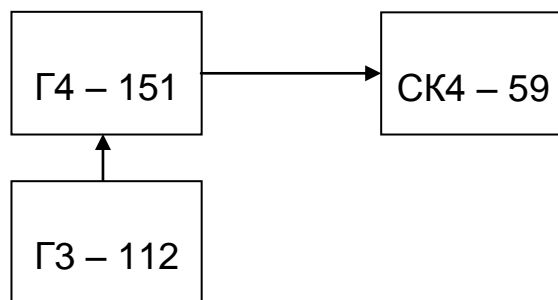


Рис. 4

5.9 Включить генераторы и анализатор спектра..

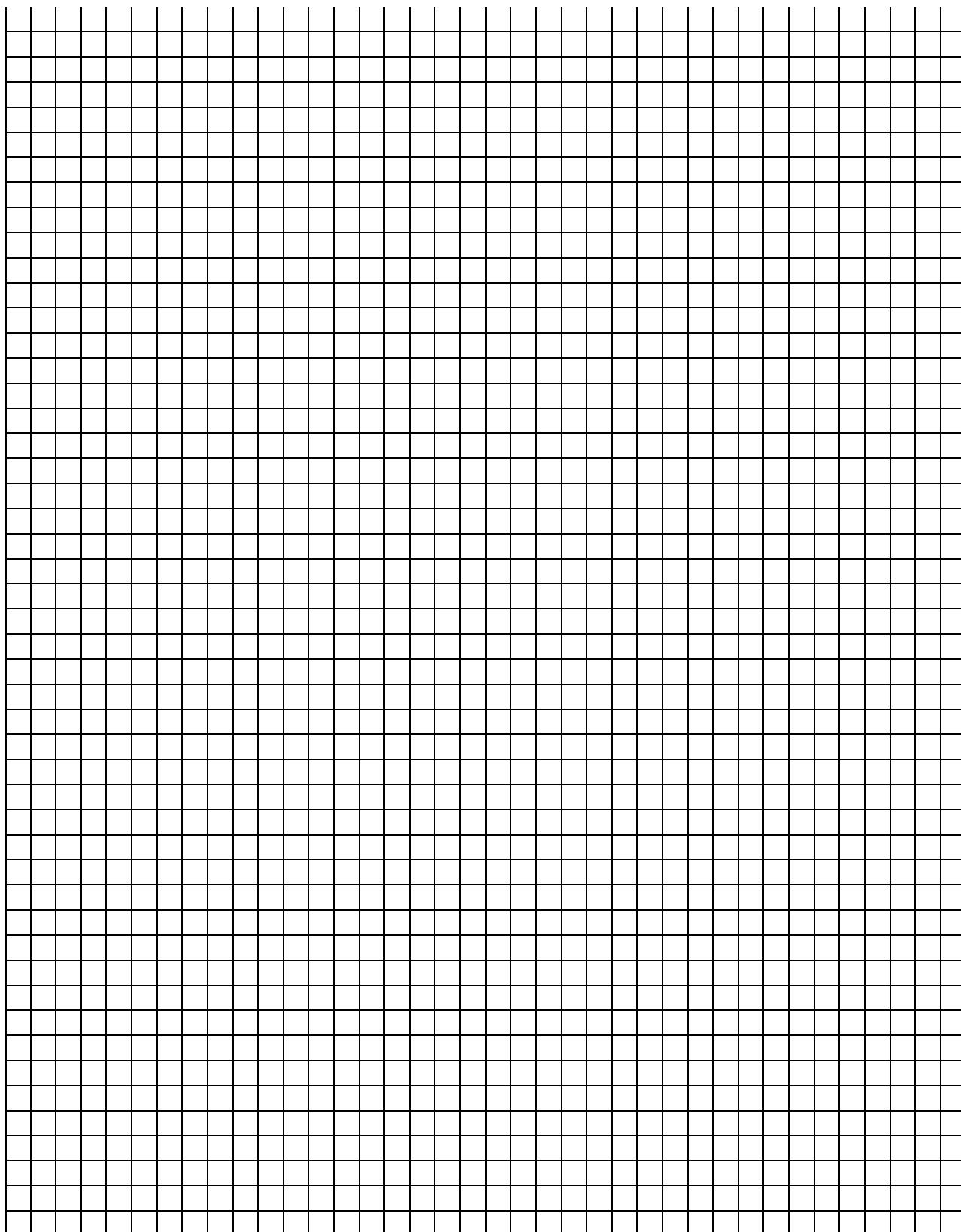
- 5.10 На генераторе Г4 – 151 установить
 - внешнюю модуляцию.
 - частоту несущей 20МГц
 - коэффициент модуляции 40%
- 5.11. На генераторе Г3– 112 установить частоту управляющего сигнала 15 кГц.
- 5.12 По анализатору спектра определить частоту несущей, частоты боковых составляющих АМ-сигнала.
- 5.13 По результатам измерений рассчитать ширину спектра АМ-сигнала.
- 5.13 На генераторе Г3– 112 установить частоту управляющего сигнала 20кГц
- 5.14 По анализатору спектра определить частоту несущей, частоты боковых составляющих АМ-сигнала.
- 5.15 По результатам измерений рассчитать ширину спектра АМ-сигнала.
- 5.16 Рассчитать ширину спектра по формуле и сравнить результаты измерений с результатами вычислений.
- 5.17 Сделать вывод о влиянии частоты управляющего сигнала на ширину спектра АМ-сигнала.
- 5.18 Изобразить спектральные диаграммы АМ-сигнала при частоте управляющего сигнала 10кГц и 20 кГц обозначить ширину спектра АМ-сигнала.
- 5.19 Сделать вывод о частотном составе АМ-сигнала чистым тоном.

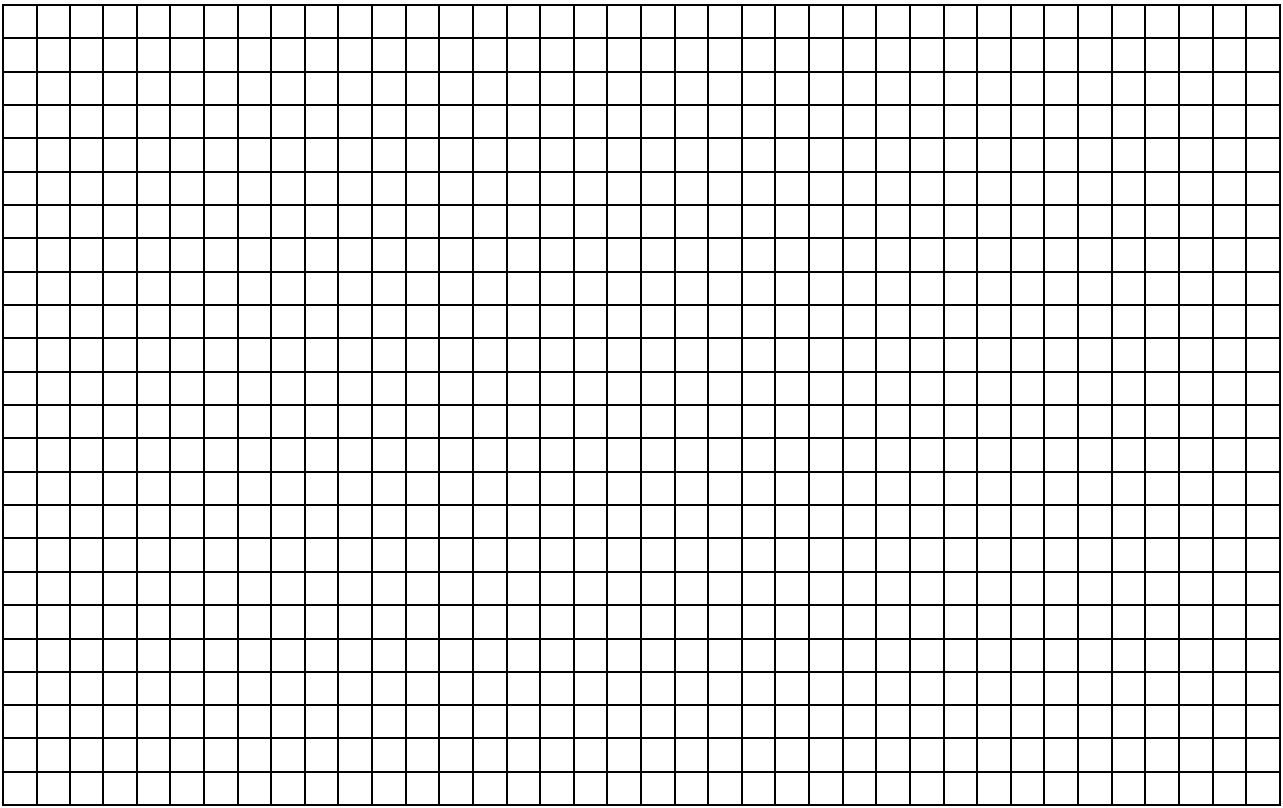
6. Содержание отчета

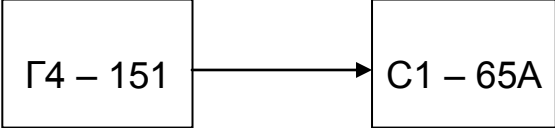
- 6.1 Название работы.
- 6.2 Цель работы.
- 6.3 Приборы, используемые при измерениях.
- 6.4 Схемы измерений.
- 6.5 Результаты измерений и вычислений.
- 6.6 Выводы о влиянии коэффициента модуляции на амплитуду АМ-сигнала.

о влиянии частоты управляющего сигнала на ширину спектра АМ-сигнала.

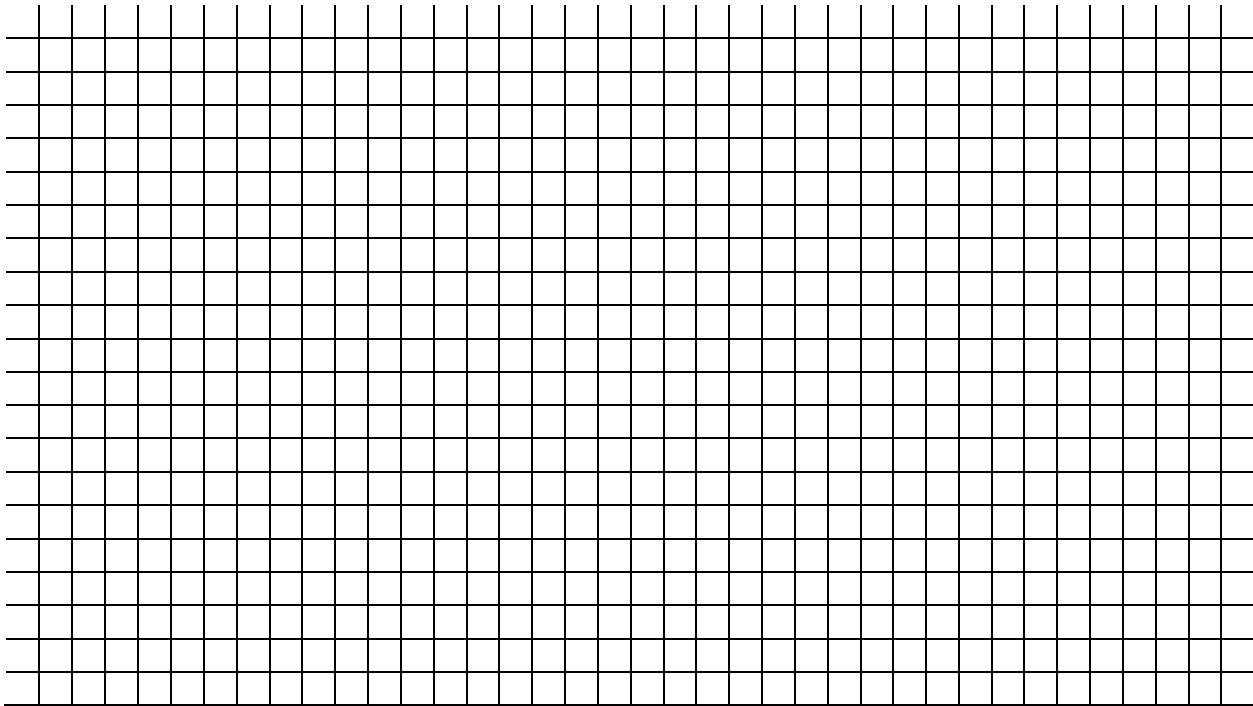
Ответы на контрольные вопросы



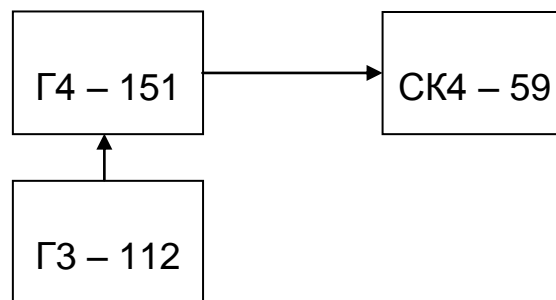


Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 1 «Измерение параметров амплитудно-модулированных сигналов»	Зачет
<p>1. Цель занятия Исследовать временные диаграммы и спектр АМ-сигнала и научиться измерять параметры амплитудно-модулированных сигналов.</p> <p>2. Перечень приборов и оборудования</p> <p>2.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-151</p> <p>2.2 Осциллограф С1-65А</p> <p>2.3 Генератор Г3-112</p> <p>2.4 Анализатор спектра СК4-59</p> <p>3. Схема измерений</p> <div style="text-align: center;">  <pre> graph LR A[Г4 – 151] --> B[С1 – 65А] </pre> </div> <p>4. Результаты измерений и вычислений</p> <p>4.1 - внутренняя модуляция (частота управляющего сигнала 1кГц) - частота несущей 10 МГц - коэффициент модуляции 40%.</p> <p>4.2 Определить по осциллографу максимальную амплитуду АМ-сигнала.</p> $U_{AM \max} =$ <p>4.3 Определить по осциллографу минимальную амплитуду АМ-сигнала</p> $U_{AM \min} =$ <p>4.4 Рассчитать коэффициент модуляции</p> $m = \frac{U_{AM \max} - U_{AM \min}}{U_{AM \max} + U_{AM \min}} =$		

4.5 По результатам измерений построить временную диаграмму АМ-сигнала.



5. Схема измерений



6. Результаты измерений и вычислений

6.1 - внешняя модуляция

- частота несущей 10МГц.
- частота управляющего сигнала 15 кГц.
- коэффициент модуляции 40%.

6.2 Определить по анализатору спектра параметры спектра АМ-сигнала

- частоту несущей

$$f =$$

-частоту верхней боковой

$$f_{вб} =$$

-частоту нижней боковой

$$f_{\text{нб}} =$$

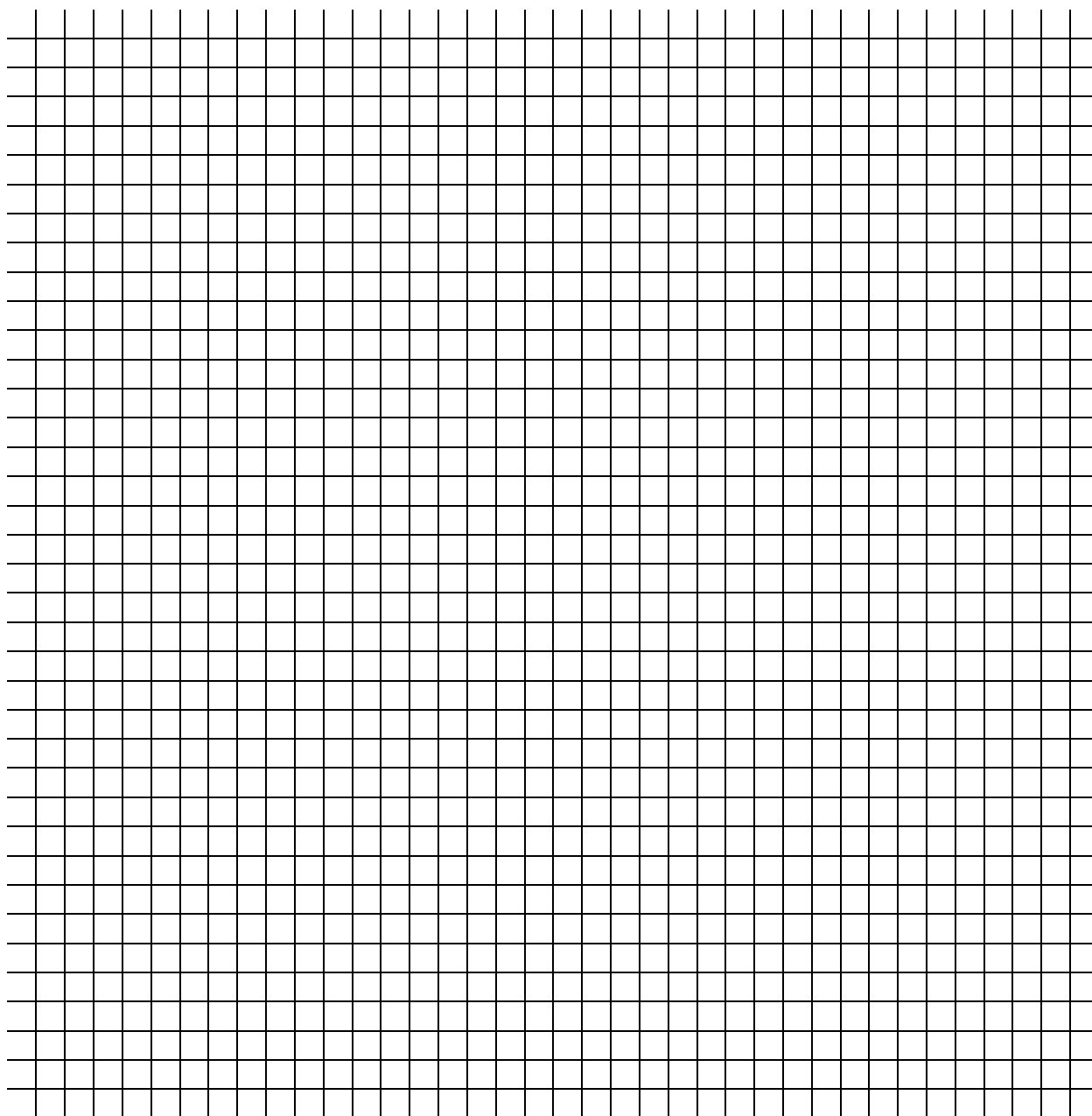
6.3 Рассчитать по результатам измерений ширину спектра АМ-сигнала.

$$\text{Ш}_{\text{АМ}} = f_{\text{вб}} - f_{\text{нб}} =$$

6.4 Рассчитать ширину спектра АМ-сигнала по формуле

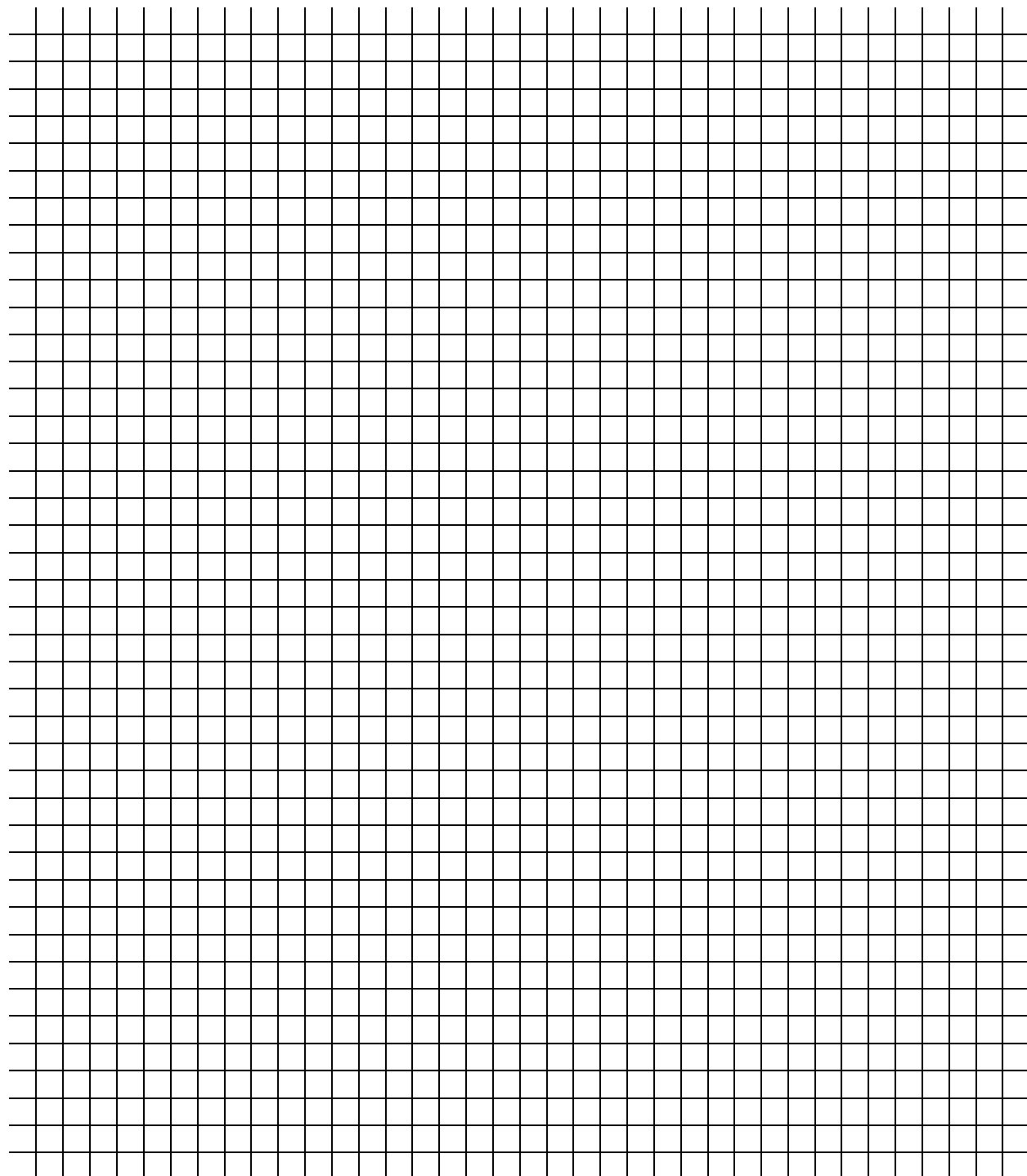
$$\text{Ш}_{\text{АМ}} = 2F =$$

6.5 Построить спектральные диаграммы АМ-сигнала по результатам измерений и вычислений



7. Выводы

- 7.1 Сравнить заданный и рассчитанный по результатам измерений коэффициент модуляции АМ-сигнала
- 7.2 Указать, как влияет коэффициент модуляции на амплитуду АМ-сигнала.
- 7.3 Сделать вывод о спектре АМ-сигнала при АМ чистым тоном.
- 7.4 Сравнить рассчитанную по результатам измерений и аналитически ширину спектра АМ-сигнала.
- 7.5 Указать, как влияет частота управляющего сигнала на ширину спектра АМ-сигнала.



ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Исследование спектра частотно-модулированных сигналов

1. Цель занятия

Исследовать спектр ЧМ-сигнала и научиться измерять параметры частотно-модулированных сигналов.

2. Краткие теоретические сведения

Частотная модуляция (ЧМ) – это процесс изменения частоты несущего сигнала по закону управляющего сигнала.

Сигнал, который получается в результате частотной модуляции, называется частотно-модулированным.

Девияция частоты – это максимальное приращение частоты несущего сигнала в процессе частотной модуляции.

Девияция частоты пропорциональна амплитуде управляющего сигнала:

$$\Delta \omega \sim U_M$$

Индекс модуляции.

$$M = \frac{\Delta \omega}{\Omega}$$

Физический смысл индекса модуляции: отношение девииции частоты к частоте управляющего сигнала.

Индекс модуляции зависит только от параметров управляющего сигнала, он прямо пропорционален амплитуде управляющего сигнала и обратно пропорционален его частоте.

Спектр ЧМ – сигнала теоретически бесконечно большой, даже когда управляющий сигнал гармонический (чистый тон).

Выражение для мгновенного значения напряжения ЧМ-сигнала при модуляции чистым тоном

$$u_{\text{чм}}(t) = U_0 \sin \omega t + \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin(\omega + k\Omega)t - \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin(\omega - k\Omega)t.$$

Из этого уравнения видно, что в результате частотной модуляции получается сложное колебание, теоретически состоящее из бесконечно большого числа гармонических составляющих:

- несущего колебания с амплитудой U_0 и частотой ω ;
- бесконечно большого числа верхних боковых колебаний, каждое со своей амплитудой U_k и со своей частотой $\omega+k\Omega$;
- бесконечно большого числа нижних боковых колебаний, каждое со своей амплитудой U_k и со своей частотой $\omega-k\Omega$.

Перед нижними боковыми, в отличие от амплитудной модуляции, стоит знак “-”.

В спектре частотно-модулированного сигнала амплитуды первых боковых больше, чем амплитуда несущего. В некоторых случаях несущее колебание отсутствует ($U_0 = 0$ при $M = 2,4; M = 5,5$).

Поскольку с увеличением номера боковых их амплитуда уменьшается, то на практике спектр частотно-модулированных сигналов ограничивают сверху и снизу $(M+1)$ -й составляющей.

Таким образом, в спектре частотно-модулированного сигнала практически $2(M+1)+1$ составляющих.

Спектральная диаграмма частотно-модулированного сигнала для $M = 5$ изображена на рис. 1.

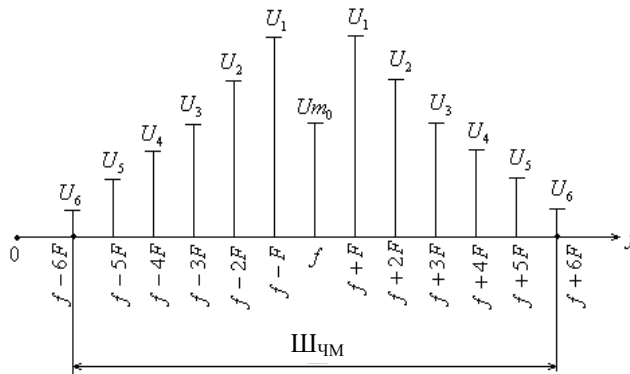


Рис. 1

При $M \ll 1$

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_m \sin \omega t + \frac{MU_m}{2} \sin(\omega + \Omega)t - \frac{MU_m}{2} \sin(\omega - \Omega)t .$$

Таким образом, при $M \ll 1$ в результате частотной модуляции получается сложное негармоническое колебание, состоящее так же, как и при амплитудной модуляции чистым тоном, из 3-х гармонических составляющих:

- несущего колебания с амплитудой U_m и частотой ω ;
- верхнего бокового (в.б.) колебания с амплитудой $\frac{MU_m}{2}$ и частотой $\omega + \Omega$;
- нижнего бокового (н.б.) колебания с амплитудой $\frac{MU_m}{2}$ и частотой $\omega - \Omega$.

Амплитуда боковых составляющих намного меньше амплитуды несущего колебания, так как M намного меньше 1.

Спектральная диаграмма ЧМ-сигнала при $M \ll 1$ представлена на рис. 2.

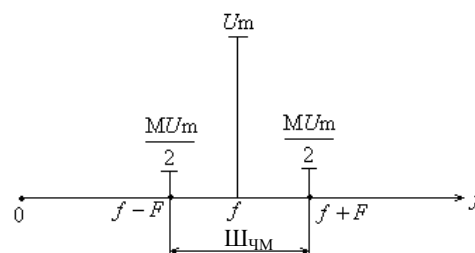


Рис. 2

Шириной спектра частотно-модулированного сигнала ($\Delta f_{\text{ЧМ}}$) называется диапазон частот, в котором расположены все спектральные составляющие частотно-модулированного сигнала.

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} = 2\Delta f.$$

Вывод. Ширина спектра частотно-модулированного сигнала зависит от M и при глубокой модуляции (при $M \gg 1$) равна удвоенной девиации частоты.

3. Контрольные вопросы

- 3.1 Дайте определение частотной модуляции.
- 3.2 Как называется сигнал, который получается в результате частотной модуляции?
- 3.3 Что значит ЧМ чистым тоном?
- 3.4 Как изменяется частота несущего сигнала в процессе ЧМ?
- 3.5 Дайте определение девиации частоты.
- 3.6 В чем заключается физический смысл девиации частоты?
- 3.7 Сколько теоретически в спектре ЧМ-сигнала составляющих?
- 3.8 Напишите выражение для мгновенного значения напряжения ЧМ-сигнала.
- 3.9 Назовите особенности спектра частотно-модулированного сигнала.
- 3.10 Которой составляющей и на каком основании ограничивают на практике спектр частотно-модулированного сигнала?
- 3.11 Сколько практически в спектре ЧМ-сигнала составляющих?
- 3.12 Изобразите спектр ЧМ-сигнала при $M = 4$.
- 3.13 Напишите выражение для мгновенного значения напряжения частотно-модулированного сигнала при $M \ll 1$. Проанализируйте его.
- 3.14 Изобразите спектр ЧМ - сигнала при $M \ll 1$.
- 3.15 Дайте определение ширины спектра ЧМ-сигнала.
- 3.1 Напишите точную формулу для определения ширины спектра ЧМ-сигнала.

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-151.
- 4.2 Генератор Г3-112
- 4.3 Анализатор спектра СК4-59

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 3)

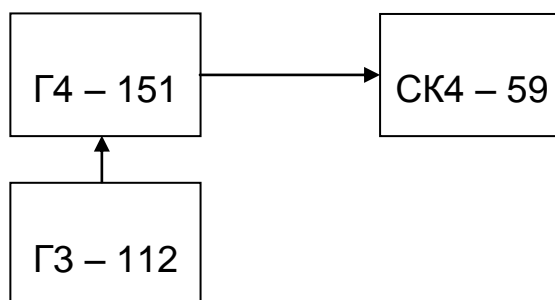
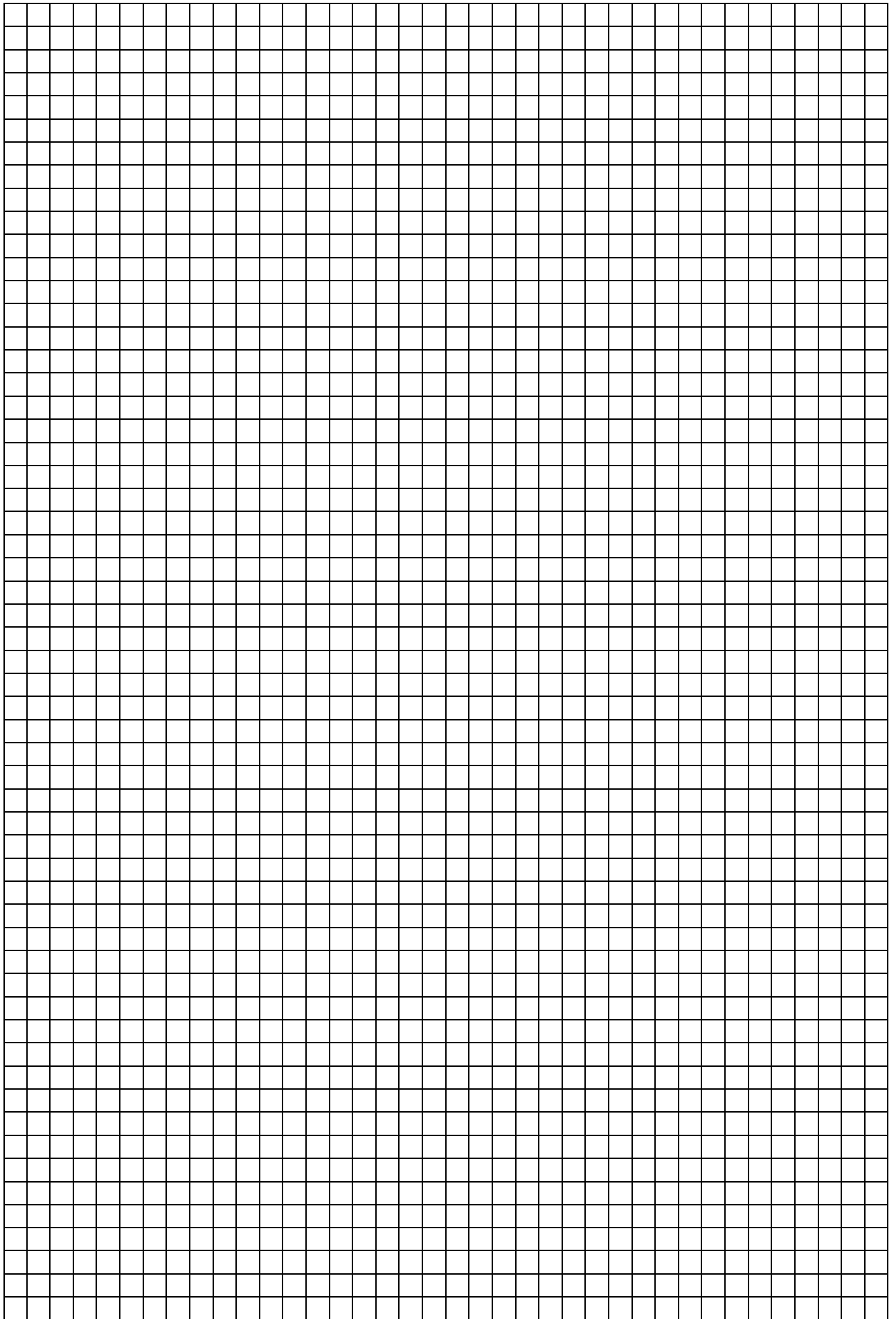


Рис. 3



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № 2 «Исследование спектра частотно-модулированных сигналов»	Зачет

1. Цель занятия
Исследовать спектр ЧМ-сигнала и научиться измерять параметры частотно-модулированных сигналов.

2. Перечень приборов и оборудования
- 2.1 Генератор сигналов высокочастотный Г4-151.
 - 2.2 Генератор Г3-112
 - 2.3 Анализатор спектра СК4-59

3. Схема измерений

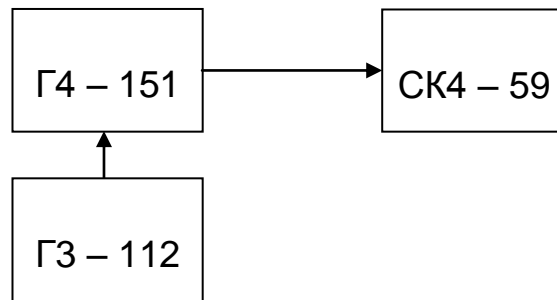


Рис. 4

4. Результаты измерений и вычислений

- 4.1 - внешняя модуляция
- частота несущего сигнала 20МГц
 - девиация частоты 45кГц
 - частота управляющего сигнала 15 кГц

4.2 Рассчитать индекс модуляции

$$M = \frac{\Delta f}{F} =$$

4.3 Определить по анализатору спектра параметры спектра ЧМ-сигнала

-частоту верхней крайней боковой

$$f_{вб \max} =$$

-частоту нижней крайней боковой

$$f_{нб \min} =$$

4.4 Рассчитать по результатам измерений ширину спектра ЧМ-сигнала.

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} = f_{\text{вб max}} - f_{\text{нб min}} =$$

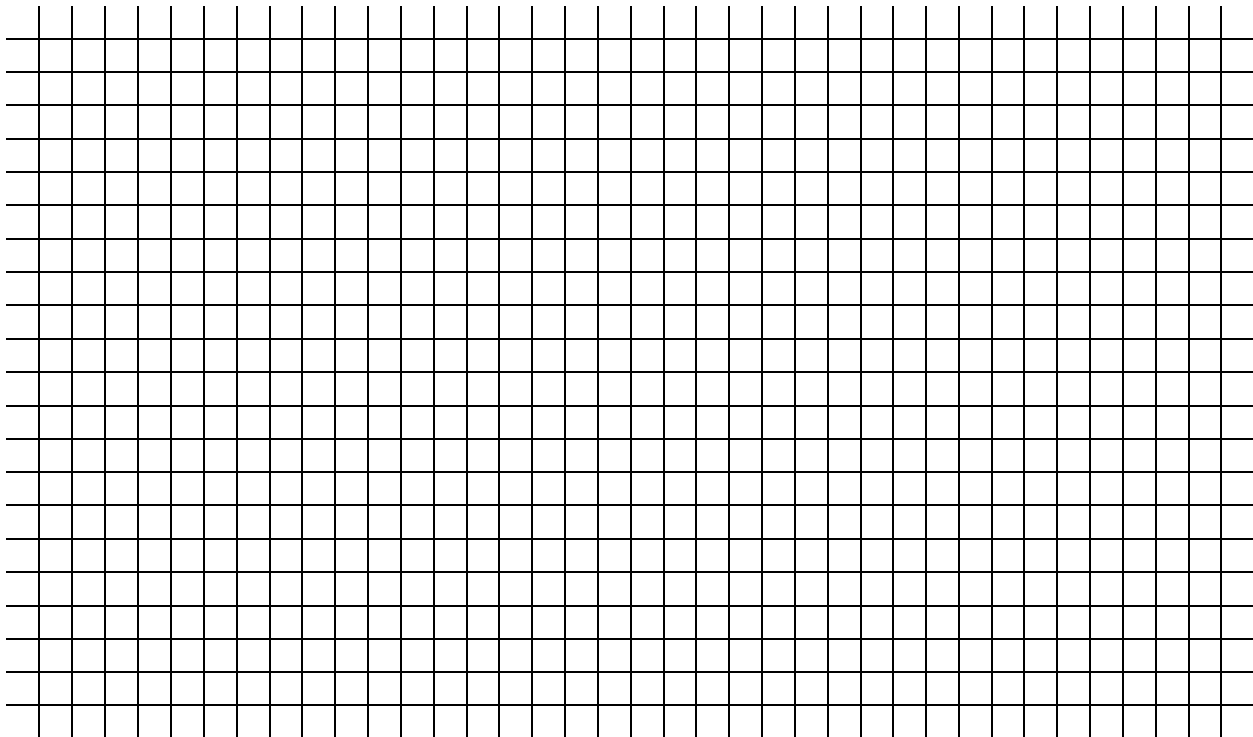
4.5 Рассчитать девиацию частоты

$$2\Delta f = \Delta f_{\text{ЧМ}} / 2$$

4.6 Рассчитать ширину спектра ЧМ-сигнала по формуле

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} = 2\Delta f =$$

4.7 Построить спектральную диаграмму ЧМ-сигнала по результатам измерений.

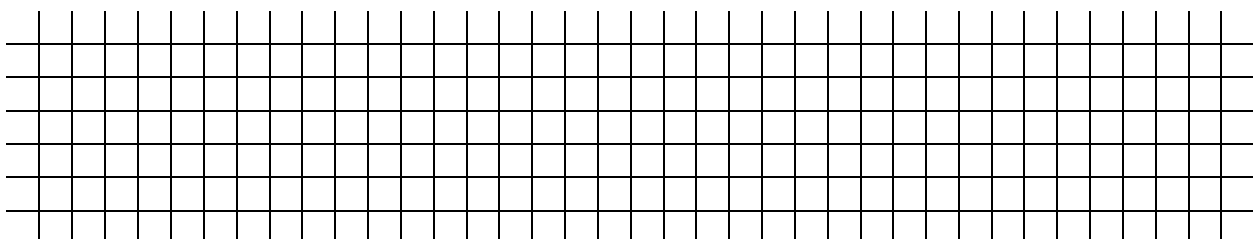


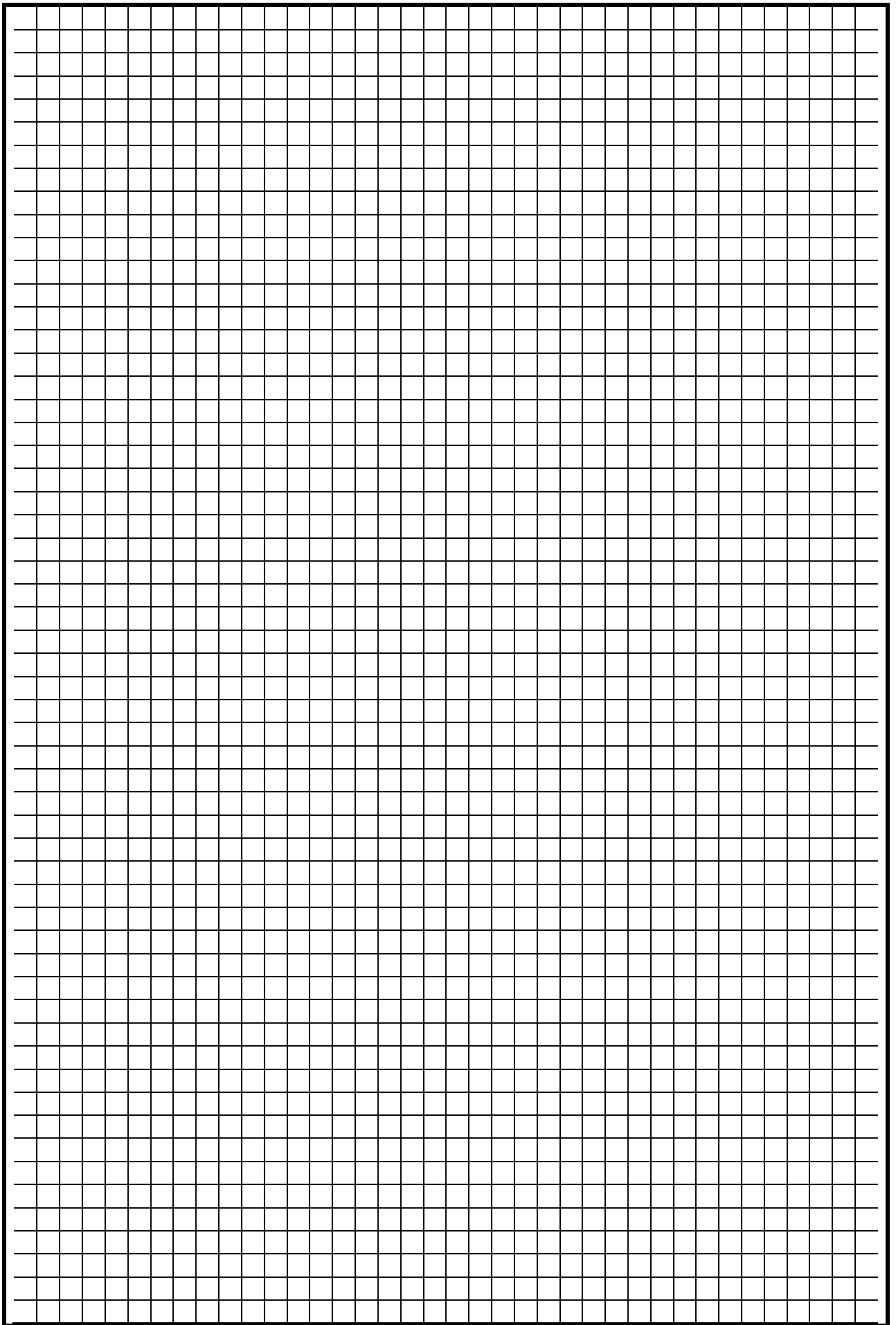
5. Выводы

5.1 Сделать вывод о спектре ЧМ-сигнала при ЧМ чистым тоном.

5.2 Сравнить рассчитанную по результатам измерений и аналитически ширину спектра ЧМ-сигнала.

5.3 Сравнить рассчитанную по результатам измерений и заданную девиацию частоты





ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Исследование последовательного контура

1. Цель занятия

Исследовать избирательные свойства последовательного контура и влияние его элементов на форму резонансной кривой и параметры контура.

2. Краткие теоретические сведения

Последовательным колебательным контуром называется замкнутая электрическая цепь, состоящая из катушки индуктивности и конденсатора, включенных последовательно с источником входного сигнала (рис. 1).

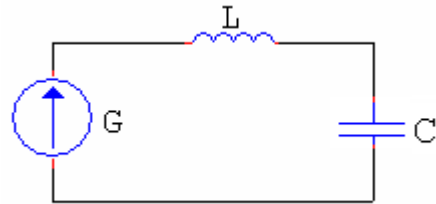


Рис. 1

Явление резонанса напряжений наступает в контуре при $f\omega = f_0$ и $|X_C| = |X_L|$.

В этом случае контур представляет для источника сигнала наименьшее сопротивление:

$$Z_{\text{ВХ РЕЗ}} = R.$$

Напряжение на конденсаторе в момент резонанса:

$$U_{C_{\text{рез}}} = U_{L_{\text{рез}}} = QU_{\text{вх}}, \quad (1)$$

$$Q = \frac{Z_{\text{в}}}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление контура,
 Q – добротность контура.

Коэффициент передачи контура по напряжению

$$K = \frac{U_{\text{ввых}}}{U_{\text{вх}}}.$$

При резонансе

$$K_0 = \frac{U_{C_{\text{рез}}}}{U_{\text{вх}}} = Q.$$

Зависимость коэффициента передачи контура по напряжению от частоты входного сигнала называется амплитудно-частотной характеристикой контура (АЧХ).

Форма АЧХ зависит от параметров контура (C , L , R), так как при изменении параметров изменяется добротность контура.

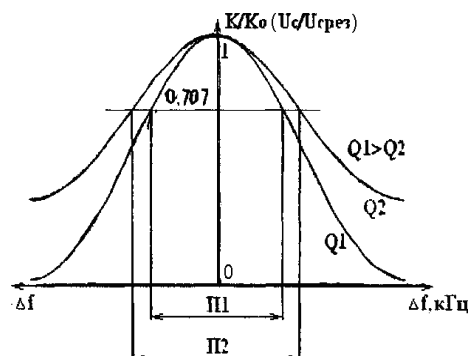
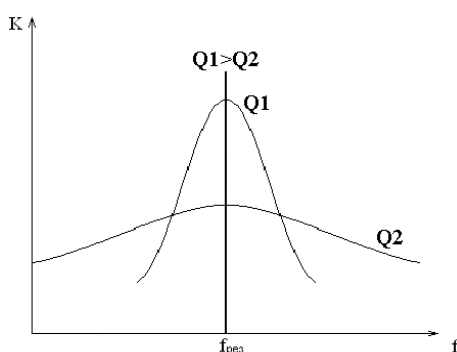


Рис. 2. АЧХ в абсолютной системе координат

Рис. 3. АЧХ в относительной системе координат

Резонансной характеристикой в абсолютных координатах по напряжению называется кривая, показывающая зависимость напряжения на реактивных элементах контура от частоты генератора вблизи резонансной частоты (рис. 4).

Резонансной характеристикой в относительных координатах по напряжению называется кривая, показывающая зависимость отношения амплитуды напряжения на реактивных элементах контура к амплитуде напряжения на реактивных элементах контура при резонансе от какой-либо расстройки при малых расстройках (рис. 5).

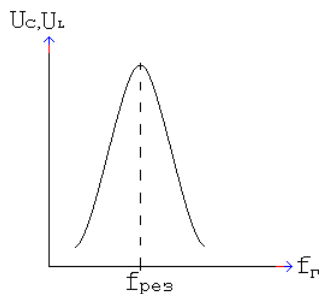


Рис. 4

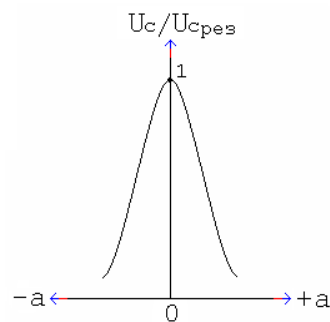


Рис. 5

Для сравнения различных колебательных контуров строят АЧХ или резонансные кривые в относительной системе координат.

По оси абсцисс откладывается абсолютная $\Delta f = f_r - f_{рез}$ (кГц) или относительная расстройка $\% \frac{\Delta f}{f_{рез}}, \%$.

Избирательные свойства контура оцениваются полосой пропускания, под которой понимают диапазон частот, в пределах которого коэффициент передачи и выходное напряжение (U_c) составляют 0,707 от резонансного значения.

По экспериментально измеренной АЧХ можно определить добротность контура:

$$Q = \frac{f_{рез}}{\Pi} . \quad (3)$$

3. Контрольные вопросы

- 3.1 Что называется колебательным контуром?
- 3.2 Какой контур называется последовательным?
- 3.3 Какое явление в контуре называется резонансом?
- 3.4 Почему резонанс в последовательном контуре называется резонансом напряжений?
- 3.5 Перечислите условия резонанса напряжения.
- 3.6 Как можно настроить контур в резонанс?
- 3.7 Что такое коэффициент передачи контура по напряжению и чему он равен при резонансе?
- 3.8 Как изменяется АЧХ контура при включении в контур резистора, изменении емкости конденсатора?
- 3.9 Что называется полосой пропускания контура?
- 3.10 От каких параметров зависит величина полосы пропускания контура?
- 3.11 Что такое АЧХ в относительном и абсолютном масштабах? Какие величины откладываются по осям координат?
- 3.12 Что такое абсолютная расстройка, относительная расстройка?
- 3.13 Как экспериментально определить добротность контура?

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.3 Генератор ГЧ-102.
- 4.4 Милливольтметр ВЗ-38.
- 4.3 Колебательный контур (макет).

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 6).

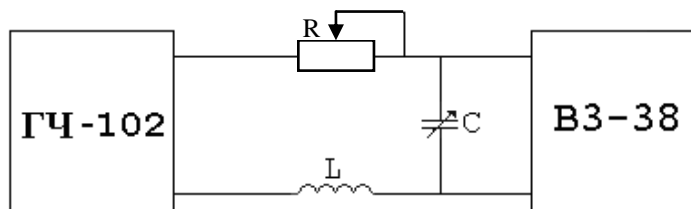


Рис. 6

- 5.2 Включить генератор и вольтметр.

- 5.3 Установить в крайнее левое положение ручку переменного конденсатора C (C_{\min}).

Перестраивая генератор по частоте, добиться резонанса напряжения. Установить ручку переменного резистора R в крайнее левое положение (R_{\min}). Измерить зависимость напряжения на конденсаторе от частоты генератора, перестраивая генератор с шагом 5 кГц. Измерения резонансной кривой можно закончить, если $U_c = 0,5 U_{c \text{ рез}}$.

Результаты измерений занести в табл. 1.

Установить ручку переменного резистора R в крайнее правое положение (R_{\max}) измерить вторую резонансную кривую. Так как добротность контура будет мала, то резонансная кривая будет пологая, и измерения можно производить с шагом 10 кГц.

Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1(2)

f _r , кГц	U _c , В	
	R _{min}	R _{max}
f _p		
f _p +5кГц		
f _p +10кГц		
· · · ·		
· · · ·		
f _p -5кГц		
f _p -10кГц		
· · · ·		

5.4 Установить в крайнее правое положение ручку переменного конденсатора C(C_{max}).

Перестраивая генератор по частоте, добиться резонанса напряжений. Измерить зависимость напряжения на конденсаторе от частоты генератора при крайнем левом (R_{min}) и крайнем правом (R_{max}) положении ручки переменного резистора R.

Результаты измерений занести в табл. 2.

5.5 По данным таблиц 1 и 2 рассчитать и заполнить табл. 3 и 4.

Таблица 3(4)

Δf, кГц	U _c /U _{c рез}	
	R _{min}	R _{max}
0	1	1
+5		
+10		
· · · · · · · ·		
· · · · · · · ·		
-5		
-10		
· · · · · · · ·		

5.6 По данным таблиц 1-4 построить резонансные кривые в абсолютном и относительном масштабе.

5.7 Определить графически полосу пропускания контура.

5.8 Рассчитать добротность Q, затухание d, логарифмический декремент затухания θ контура для различных значений C и R

6. Содержание отчета

6.1 Название работы.

6.10 Цель работы.

6.11 Приборы, используемые при измерениях.

6.12 Схема измерений.

6.13 Результаты измерений (таблицы).

6.8 Резонансные кривые в относительном и абсолютном масштабе.

6.9 Результаты вычислений полосы пропускания П, добротности Q, затухания d, логарифмического декремента затухания θ .

6.10 Выводы о влиянии величины емкости конденсатора C на резонансную частоту контура, величины емкости конденсатора C и сопротивления резистора R на форму резонансных кривых и параметры контура.

Ответы на контрольные вопро

A large grid of graph paper, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares, intended for writing answers to control questions.

Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 3 «Исследование последовательного контура»	Зачет

1. Цель занятия
Исследовать избирательные свойства последовательного контура и влияние его элементов на форму резонансной кривой и параметры контура.

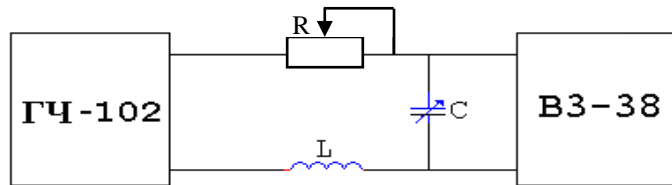
2. Перечень приборов и оборудования

2.1 Генератор Г4-102.

2.2 Милливольтметр ВЗ-38.

2.3 Колебательный контур (макет).

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

4.1 $C = C_{min}$.

Таблица 1

Резонансные кривые при $C = C_{min}$

f_r , кГц																			
Δf , кГц																			
U_c , В	R_{min}																		
	R_{max}																		
$U_c/U_{c\text{рез}}$	R_{min}																		
	R_{max}																		

4.2 $C = C_{max}$

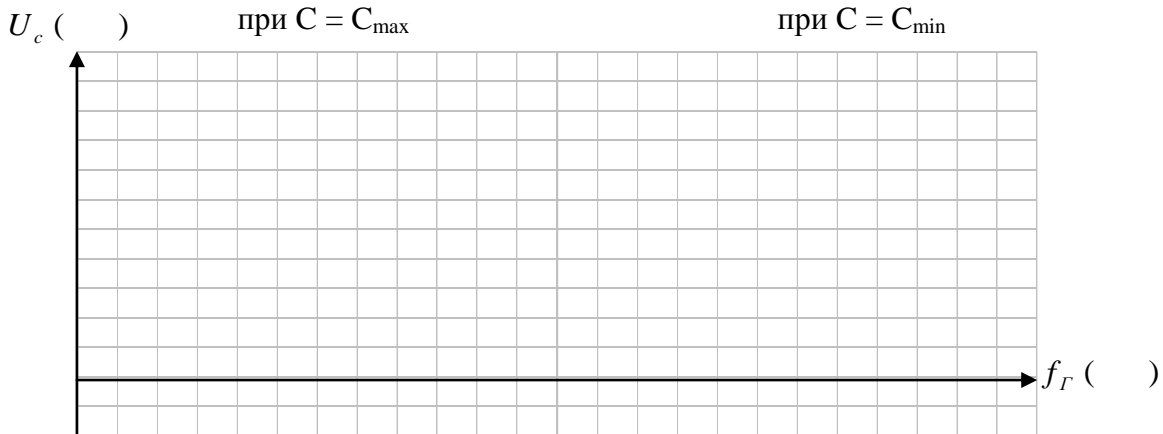
Таблица 2

Резонансные кривые при $C = C_{max}$

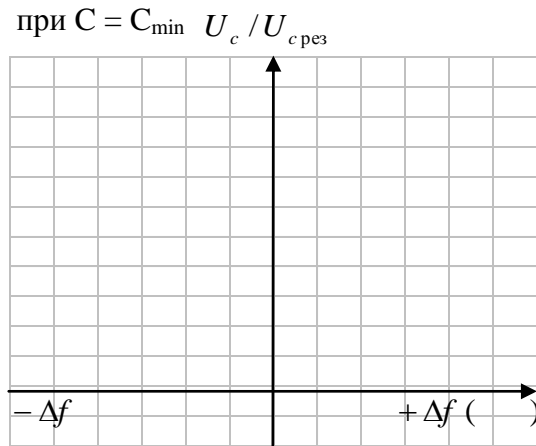
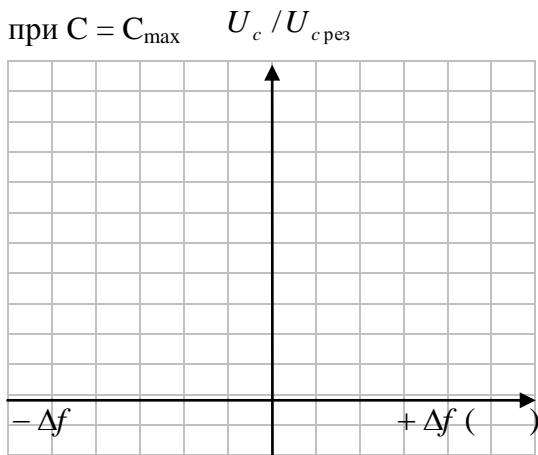
f_r , кГц																			
Δf , кГц																			
U_c , В	R_{min}																		
	R_{max}																		
$U_c/U_{c\text{рез}}$	R_{min}																		
	R_{max}																		

5. Резонансные кривые

5.1 Резонансные кривые в абсолютной системе координат.



5.2 Резонансные кривые в относительной системе координат.



6. Результаты вычислений

6.1 $C = C_{\min}$ $R = R_{\min}$

$$f_{\text{рез}} = \quad \Pi_1 = \quad Q_1 = \frac{f_{\text{рез}}}{\Pi_1} = \quad \theta_1 = \frac{\pi}{Q_1} = \pi d = \quad d_1 = \frac{1}{Q_1} =$$

$$C = C_{\min} \quad R = R_{\max}$$

$$f_{\text{рез}} = \quad \Pi_2 = \quad Q_2 = \frac{f_{\text{рез}}}{\Pi_2} = \quad \theta_2 = \frac{\pi}{Q_2} = \pi d = \quad d_2 = \frac{1}{Q_2} =$$

6.2 $C = C_{\max}$ $R = R_{\min}$

$$f_{\text{рез}} = \quad \Pi_1 = \quad Q_1 = \frac{f_{\text{рез}}}{\Pi_1} = \quad \theta_1 = \frac{\pi}{Q_1} = \pi d = \quad d_1 = \frac{1}{Q_1} =$$

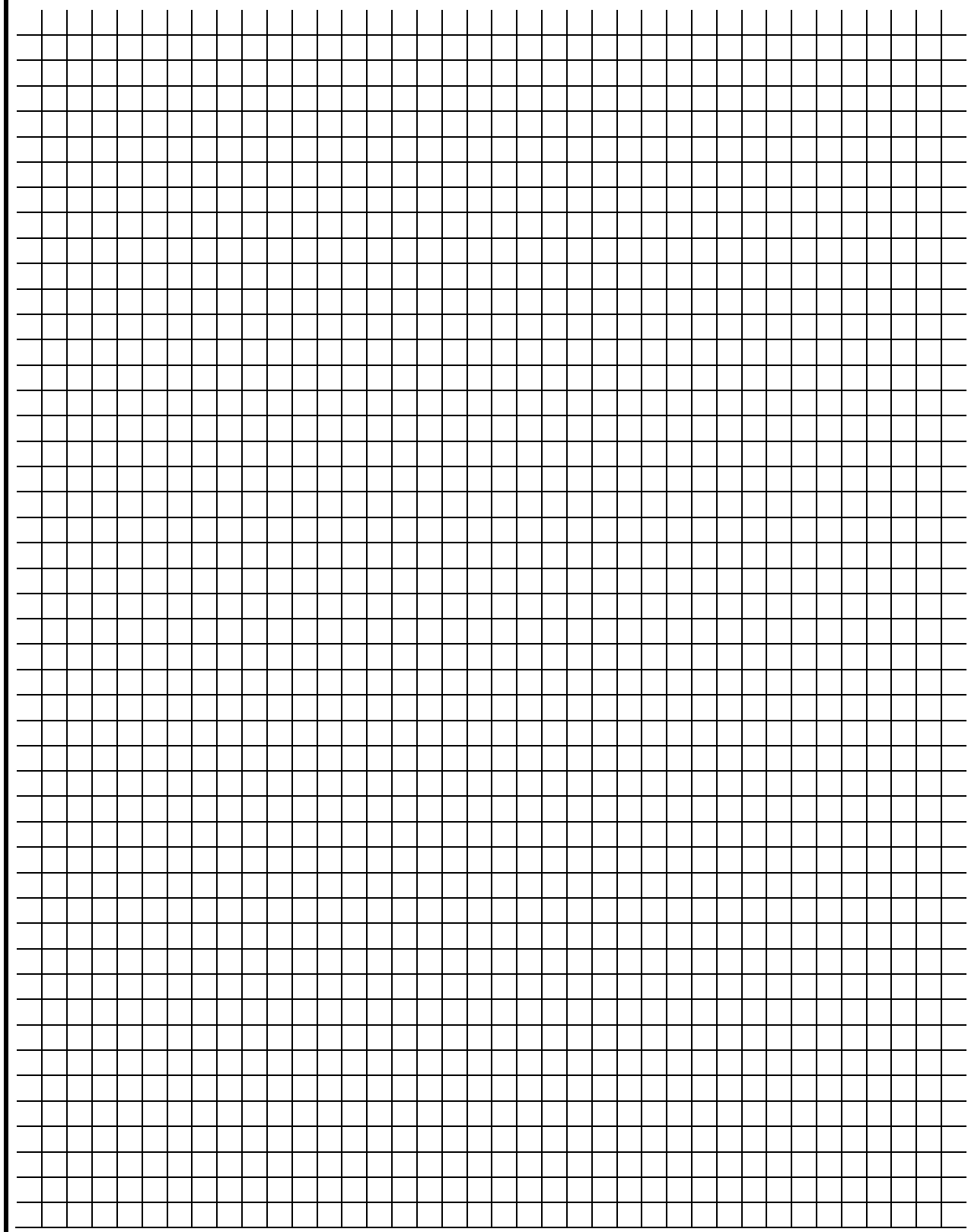
$$C = C_{\max} \quad R = R_{\max}$$

$$f_{\text{рез}} = \quad \Pi_2 = \quad Q_2 = \frac{f_{\text{рез}}}{\Pi_2} = \quad \theta_2 = \frac{\pi}{Q_2} = \pi d = \quad d_2 = \frac{1}{Q_2} =$$

7. Выводы

7.1 Указать, как влияет величина емкости конденсатора контура на резонансную частоту контура.

7.2 Указать, как влияет величина сопротивления потерь контура на добротность, логарифмический декремент затухания, полосу пропускания, форму резонансных кривых и избирательность контура.



ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Исследование параллельного контура

1. Цель занятия

Изучить частотные свойства параллельного контура и способы расширения полосы пропускания.

2. Краткие теоретические сведения

Параллельным колебательным контуром называется замкнутая электрическая цепь, состоящая из катушки индуктивности и конденсатора, включенных параллельно с источником входного сигнала (рис. 1).

Если частота генератора равна собственной частоте контура, то в контуре наступает резонанс токов. При этом реактивные проводимости по абсолютной величине равны, а общая реактивная проводимость равна нулю. Входное сопротивление контура при резонансе максимально:

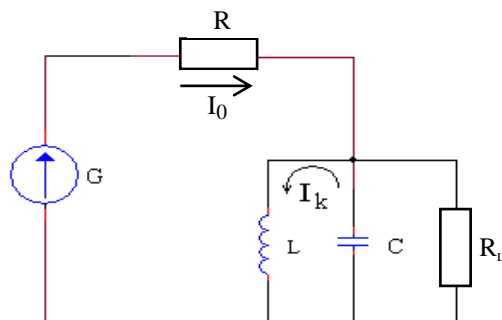


Рис. 1

$$Z_{кр} = Z_{\epsilon} Q = \frac{Z_{\epsilon}^2}{R}, \quad (1)$$

где Z_{ϵ} – волновое сопротивление контура;

Q – добротность;

R – активное сопротивление потерь контура.

При анализе частотных свойств параллельного контура необходимо учитывать влияние внутреннего сопротивления источника сигнала R_i . ЭДС источника сигнала распределяется между внутренним сопротивлением, которое можно считать не зависящим от частоты, и колебательным контуром.

От соотношения сопротивления источника R_i и $Z_{кр}$ зависит форма АЧХ и избирательные свойства контура: при $Z_{кр} > R_i$ преобладает избирательность по напряжению, при $Z_{кр} < R_i$ избирательность по току.

На практике параллельный контур широко применяется в схемах резонансных усилителей и электронных генераторов с большим R_i , которое включено параллельно контуру и снижает добротность контура.

$$Q_{\text{экв}} = \frac{Q}{1 + \frac{Z_{кр}}{R_i}}, \quad (2)$$

Входное сопротивление последующих каскадов также оказывает влияние на добротность и полосу пропускания контура.

С целью расширения полосы пропускания часто подключают $R_{ш}$, тогда:

$$Q_{\text{экв}} = \frac{Q}{1 + \frac{Z_{кр}}{R_i} + \frac{Z_{кр}}{R_{ш}}}; \quad \Pi_{\text{экв}} = \frac{f_0}{Q} \left(1 + \frac{Z_{кр}}{R_i} + \frac{Z_{кр}}{R_{ш}} \right). \quad (3)$$

На практике в параллельном контуре чаще всего рассматриваются резонансные характеристики по напряжению.

Резонансной характеристикой в абсолютных координатах по напряжению называется кривая, показывающая зависимость напряжения на контуре U_K от частоты генератора вблизи резонансной частоты (рис. 2).

Резонансной характеристикой в относительных координатах по напряжению называется зависимость отношения напряжения на контуре к напряжению на контуре при резонансе от какой-либо расстройки при малых расстройках (рис. 3).

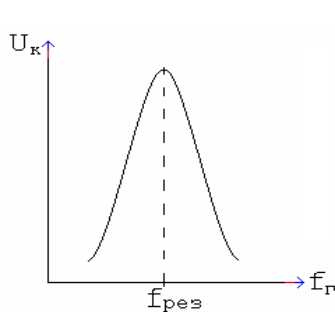


Рис. 2

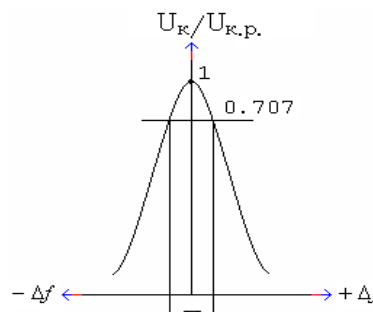


Рис. 3

Чтобы экспериментально определить добротность нагруженного контура, нужно:

- измерить и построить резонансные кривые контура,
- графически определить полосу пропускания контура Π ,
- рассчитать добротность контура $Q_{\text{экв}}$ по формуле:

$$Q_{\text{экв}} = \frac{f_{\text{рез}}}{\Pi_{\text{экв}}}, \quad (4)$$

где $f_{\text{рез}}$ – резонансная частота контура,
 $\Pi_{\text{экв}}$ – эквивалентная полоса пропускания.

3. Контрольные вопросы

- 3.1 Какая цепь называется параллельным колебательным контуром?
- 3.2 Почему резонанс в параллельном контуре называется резонансом токов?
- 3.3 Какой характер носит входное сопротивление параллельного контура при резонансе?
- 3.4 Чему равно входное сопротивление параллельного контура при резонансе?
- 3.5 Перечислите условия резонансов токов. Как практически можно определить наступление резонанса токов?
- 3.6 Как влияет R_i и $R_{ш}$ на форму резонансных кривых и избирательность контура?
- 3.7 Почему ввели понятие эквивалентной добротности параллельного контура?
- 3.8 Объясните физический смысл добротности параллельного контура.
- 3.9 Как практически можно расширить полосу пропускания контура?
- 3.10 Какова должна быть величина сопротивления шунта?

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор ГЧ-102.
- 4.2 Милливольтметр ВЗ-38.
- 4.3 Колебательный контур (макет).

5. Порядок выполнения работы

5.1 Собрать схему измерений (рис. 2).

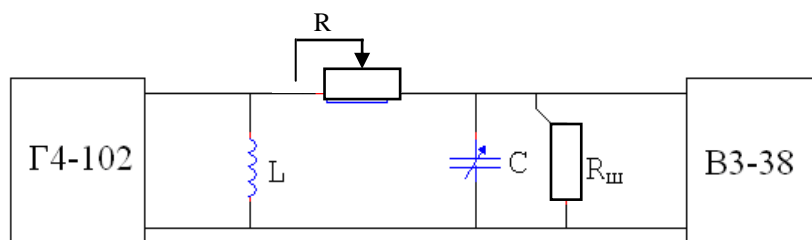


Рис. 2

5.2 Включить генератор и вольтметр.

5.3 Установить частоту генератора 200 кГц.

5.4 Изменяя емкость конденсатора С, настроить контур в резонанс.

5.5 Изменяя частоту генератора через 5 кГц, снять резонансную кривую без Rш, результаты измерений занести в табл. 1.

5.6 Настроить колебательный контур в резонанс на частоту 200 кГц.

5.7 Подключить Rш переключкой и снять резонансную кривую с Rш. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Резонансные кривые в абсолютной системе координат

f _г , кГц	U _к U _{к рез.} , В	
	без Rш	с Rш
200		
205		
210		
.....		
.....		
195		
190		
.....		

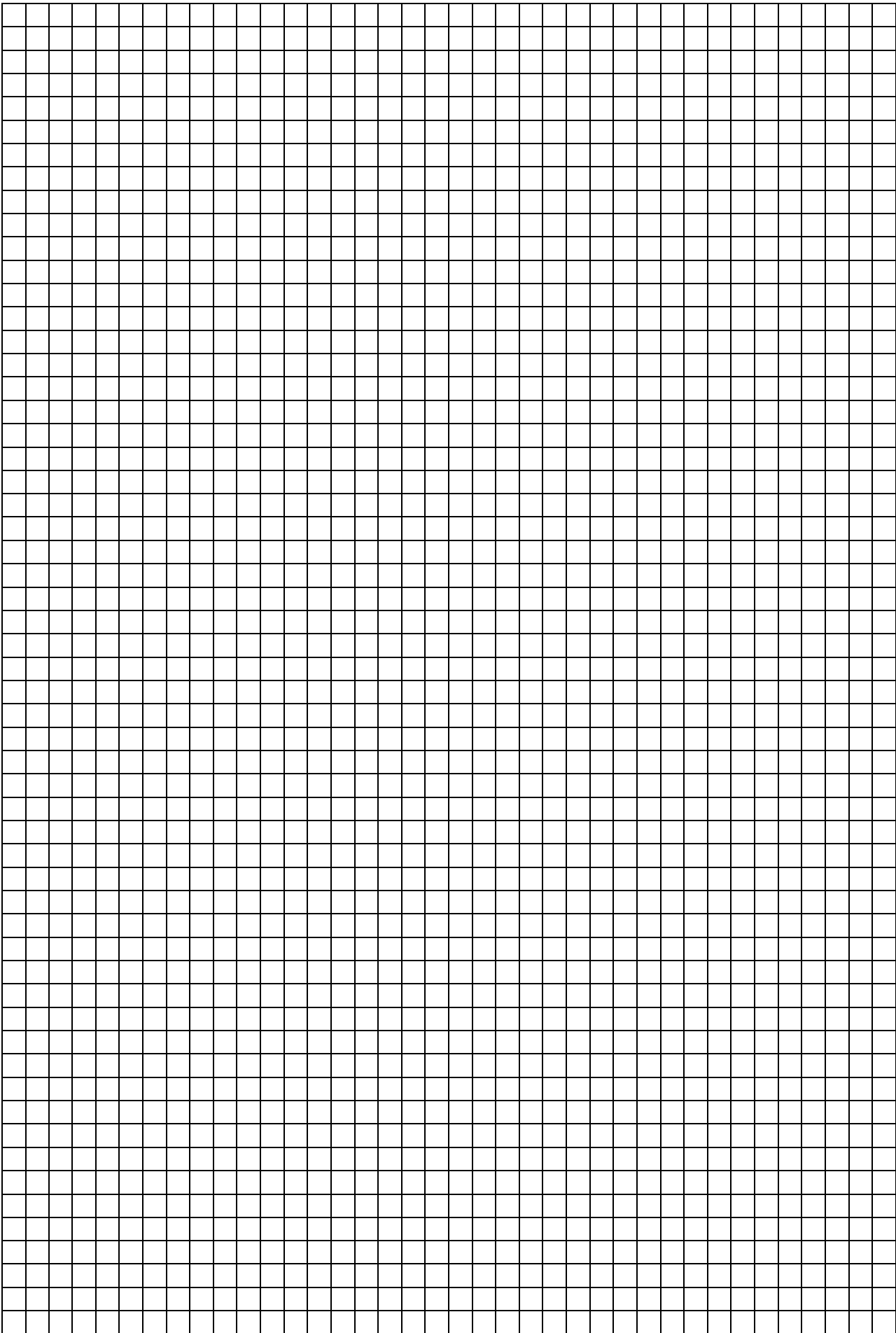
5.6 Рассчитать резонансную кривую в относительной системе координат. Результаты расчетов занести в табл. 2.

Таблица 2

Резонансные кривые в относительной системе координат

Δf, кГц	U _к /U _{к.рез.} , В	
	без Rш	с Rш
0	1	1
+5		
+10		
.....		
.....		
-5		
-10		
.....		

5.7 Построить резонансные кривые в абсолютной и относительной системе координат.



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 4 «Исследование параллельного контура»	Зачет

1. Цель занятия
Исследовать избирательные свойства параллельного контура и влияние шунта на полосу пропускания.

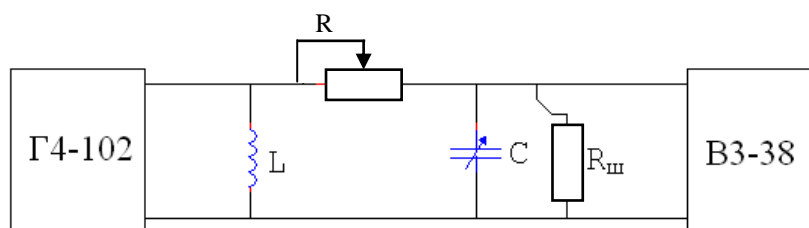
2. Перечень приборов и оборудования

2.1 Генератор Г4-102.

2.2 Милливольтметр В3-38.

2.3 Колебательный контур (макет).

3. Схема измерений



4. Результаты измерений

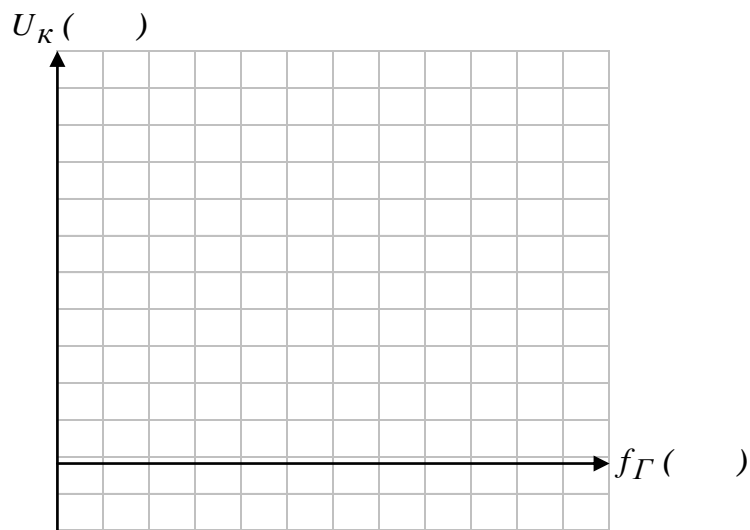
Таблица 1

Резонансные кривые контура в абсолютной и относительной системе координат

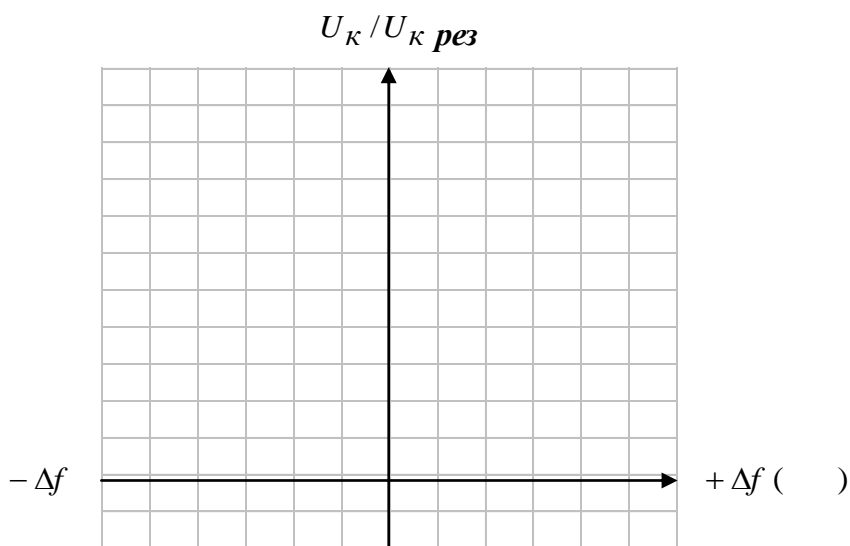
f_r , кГц																			
Δf , кГц																			
U_k , В	без $R_{ш}$																		
	с $R_{ш}$																		
$U_k/U_{k \text{ рез}}$	без $R_{ш}$																		
	с $R_{ш}$																		

5. Резонансные кривые контура

5.1 Резонансные кривые в абсолютной системе координат.



5.2 Резонансные кривые в относительной системе координат.



6. Результаты вычислений

6.1 Без R_ш

$$f_{рез} = \quad \Pi = \quad Q = \frac{f_{рез}}{\Pi} = \quad \theta = \frac{\pi}{Q} = \pi d = \quad d = \frac{1}{Q} =$$

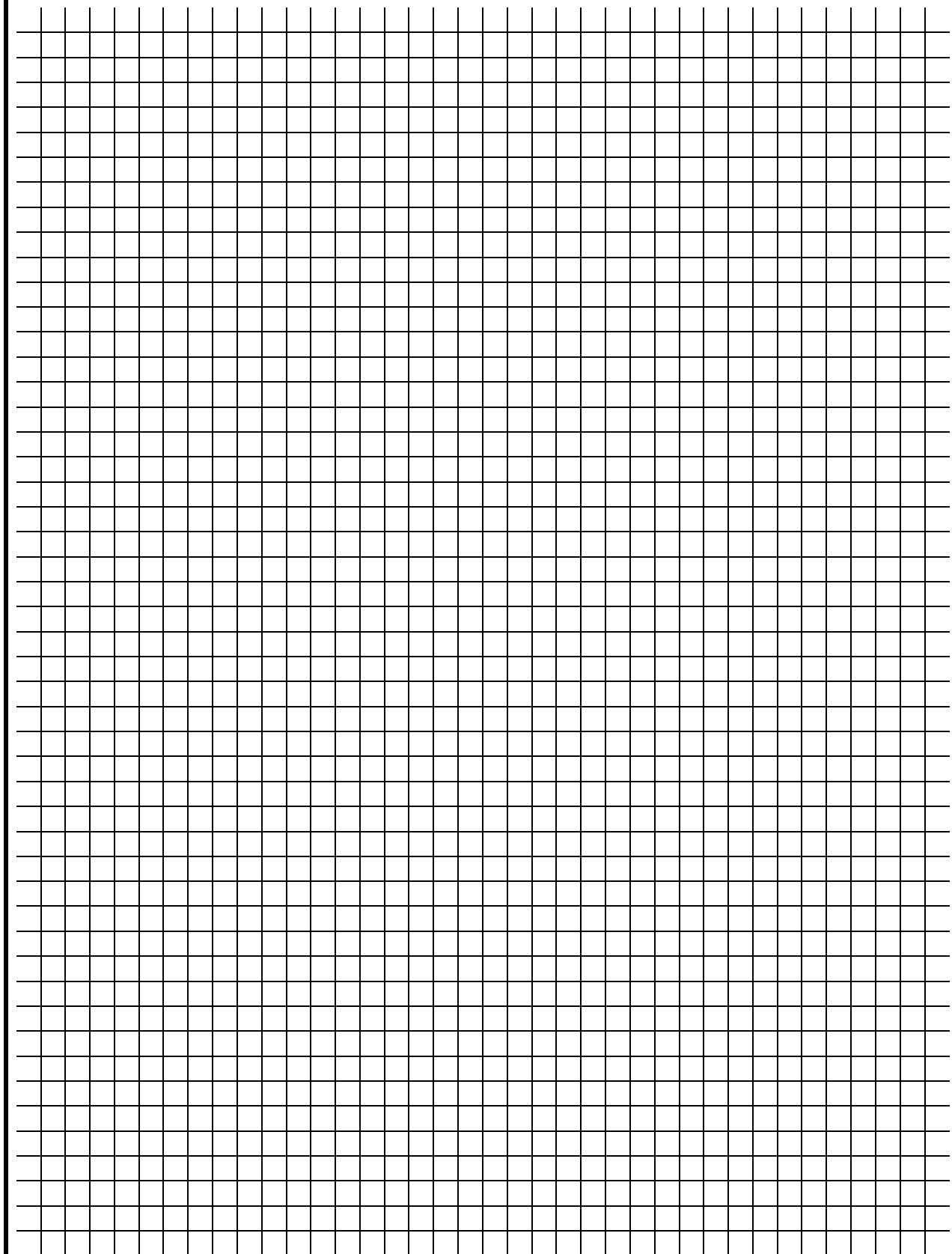
6.2 С R_ш

$$f_{рез} = \quad \Pi = \quad Q = \frac{f_{рез}}{\Pi} = \quad \theta = \frac{\pi}{Q} = \pi d = \quad d = \frac{1}{Q} =$$

7. Выводы

7.1 Указать, как влияет величина R_ш на величину U_к, добротность, логарифмический де-

кремент затухания, полосу пропускания, форму резонансных кривых и избирательность контура.



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1
Влияние коэффициента включения
на форму АЧХ и параметры параллельного контура

1. Цель занятия

Рассчитать основные параметры параллельного контура и построить АЧХ с учетом влияния внутреннего сопротивления генератора R_i и сопротивления шунта $R_{ш}$, при полном и неполном включении контура.

2. Порядок выполнения работы

Работа проводится на IBM PC с использованием программы «Afair».

2.1 Ответить на контрольные вопросы и получить допуск к выполнению практической работы.

2.2 Рассчитать параметры параллельного контура со следующими данными:

сопротивление потерь [Ом]	$R =$
сопротивление источника [Ом]	$R_i =$
сопротивление шунта [Ом]	$R_{ш} =$
индуктивность контура [мкГн]	$L =$
емкость контура [пФ]	$C =$

Индуктивность и емкость задаются преподавателем по номеру варианта.

Расчеты проводятся по формулам, не выведенным на экран монитора.

Волновое сопротивление

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Резонансная частота

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC \cdot 10^3}}, \text{ кГц.}$$

Добротность контура

$$Q = \frac{Z_{\text{в}}}{R}.$$

Резонансное сопротивление

$$Z_{\text{кр}} = \frac{Z_{\text{в}}^2}{R}.$$

Полоса пропускания контура

$$\Pi = \frac{f_{\text{рез}}}{Q}.$$

В табл. 2 параметры рассчитываются по формулам:

эквивалентная добротность $Q_{\text{экв}} = \frac{Q}{1 + \frac{Z_{к.рез}}{R_i}}$,

эквивалентная полоса пропускания $\Pi_{\text{экв}} = \frac{f_0}{Q_{\text{экв}}} = \Pi \left(1 + \frac{Z_{к.рез}}{R_i} \right)$.

В табл. 3, 5, 7 амплитудно-частотная характеристика АЧХ рассчитывается по формуле:

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + a_{\text{Э}}^2}}, \quad (1)$$

где $a_{\text{Э}} = \frac{2\Delta f}{f_{рез}} Q_{\text{экв}}$;

Δf – абсолютная расстройка с шагом в 5 кГц.

В табл. 4 параметры рассчитываются по формулам:

эквивалентная добротность

$$Q_{\text{Э}} = \frac{Q}{1 + \frac{Z_{к.рез}}{R_i} + \frac{Z_{к.рез}}{R_{ш}}}$$

эквивалентная полоса пропускания

$$\Pi_{\text{экв}} = \Pi \left(1 + \frac{z_{к.рез}}{R_i} + \frac{z_{к.рез}}{R_{ш}} \right).$$

При расчете эквивалентной добротности и полосы пропускания при неполном включении контура (табл. 6) для двух разных коэффициентов неполного включения по индуктивности используются формулы:

$$Q_{\text{экв}} = \frac{Q}{1 + \frac{\rho^2 Z_{к.рез}}{R_i} + \frac{\rho^2 Z_{к.рез}}{R_{ш}}}$$

$$\Pi_{\text{экв}} = \Pi \left(1 + \frac{\rho^2 Z_{к.рез}}{R_i} + \frac{\rho^2 Z_{к.рез}}{R_{ш}} \right).$$

Для расчета АЧХ (табл. 7) в формулу (1) подставляются соответственно эквивалентные добротности (табл. 6).

2.3 Результаты расчетов.

Таблица 1

Без учета R_i ($R_i = \infty$) без $R_{ш}$

Волновое сопротивление контура [Ом]	$Z_B =$
Резонансная частота [кГц]	$f_{рез} =$
Добротность контура	$Q =$
Полоса пропускания [кГц]	$\Pi =$
Резонансное сопротивление [Ом]	$Z_{кр} =$

Таблица 2

Полное включение контура $R_i =$ без $R_{ш}$

Эквивалентная добротность	$Q_{экр} =$
Эквивалентная полоса пропускания [кГц]	$\Pi_{экр} =$

Таблица 3

Полное включение контура $R_i =$ без $R_{ш}$

Абсолютная расстройка, кГц						
Значение кривой избирательности						

Таблица 4

Полное включение контура $R_i =$ $R_{ш} =$

Эквивалентная добротность	$Q_{экр} =$
Эквивалентная полоса пропускания [кГц]	$\Pi_{экр} =$

Таблица 5

АЧХ контура при полном включении контура $R_i =$ $R_{ш} =$

Абсолютная расстройка, кГц						
Значение кривой избирательности						

Таблица 6

Неполное включение контура по индуктивности $R_i =$ $R_{ш} =$

	$P_1 = 0,3$	$P_2 = 0,5$
Эквивалентная добротность	$Q_{экр} =$	$Q_{экр} =$
Эквивалентная полоса пропускания [кГц]	$\Pi_{экр1} =$	$\Pi_{экр2} =$

Таблица 7

АЧХ контура при неполном включении контура по индуктивности

$R_i =$ $R_{ш} =$

Абсолютная расстройка, кГц						
Значение кривой избирательности при $p = 0,3$						
Значение кривой избирательности при $p = 0,5$						

По таблицам 3, 5 и 7 программа строит графики АЧХ параллельного контура.

2.4 АЧХ контура в относительной системе координат.
АЧХ контура программа выводит на экран монитора.

3. Контрольные вопросы

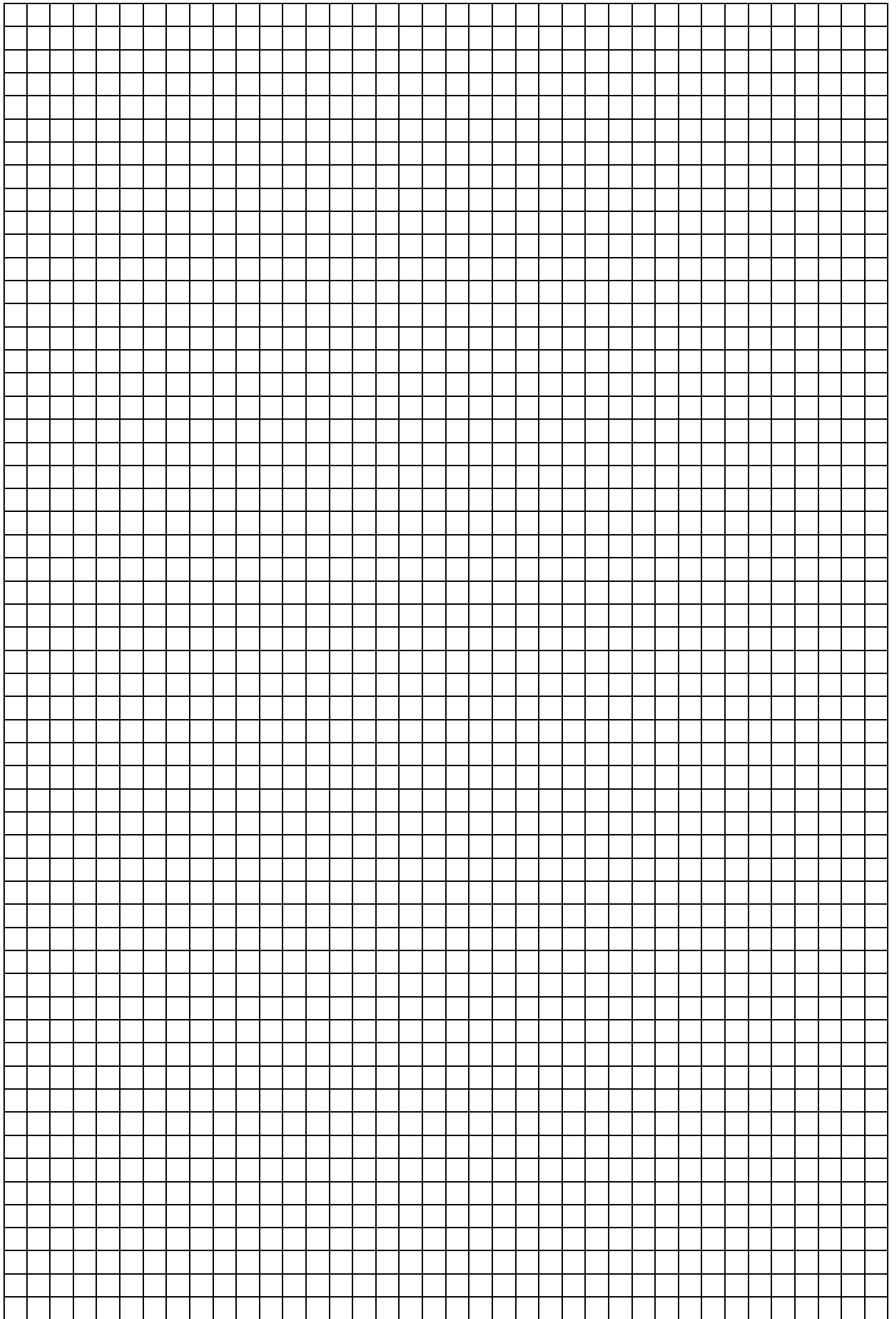
- 3.1 Что называется параллельным колебательным контуром?
- 3.2 Перечислите условия резонанса токов.
- 3.3 Почему резонанс в параллельном контуре называется резонансом токов?
- 3.4 По какой формуле рассчитывается добротность параллельного контура?
- 3.5 В чем заключается физический смысл добротности в параллельном контуре?
- 3.6 Почему в параллельном контуре введено понятие эквивалентной добротности?
- 3.7 По какой формуле рассчитывается эквивалентная добротность?
- 3.8 Каким надо выбрать внутреннее сопротивление генератора R_i , чтобы получить большой коэффициент передачи контура?
- 3.9 Каким надо выбрать внутреннее сопротивление генератора R_i , чтобы получить большую добротность?
- 3.10 Каким надо выбрать внутреннее сопротивление генератора R_i , чтобы получить высокую избирательность и узкую полосу пропускания?
- 3.11 Для какой цели к контуру подключают шунт?
- 3.12 Напишите формулу для эквивалентной добротности контура с учетом R_i и $R_{ш}$.
- 3.13 С какой целью применяют контуры с неполным включением?
- 3.14 По какой формуле рассчитывается резонансное сопротивление параллельного контура?
- 3.15 Какой характер носит сопротивление параллельного контура при резонансе? Какова его величина?
- 3.16 Какую частоту можно отфильтровать с помощью контура 2-го вида?
- 3.17 Какую частоту можно отфильтровать с помощью контура 3-го вида?
- 3.18 По какой формуле рассчитывается резонансное сопротивление контура 2-го вида?
- 3.19 По какой формуле рассчитывается резонансное сопротивление контура 3-го вида?
- 3.20 Чему равна эквивалентная добротность контура 2-го вида?

4. Содержание отчета

- 4.1 Название занятия.
- 4.2 Цель занятия.
- 4.3 Исходные данные.
- 4.4 Результаты вычислений.
- 4.5 АЧХ контура в относительной системе координат.
- 4.6 Выводы о влиянии величины R_i и $R_{ш}$ на добротность, полосу пропускания и избирательность контура, о влиянии неполного включения контура на добротность, полосу пропускания и избирательность контура.

Ответы на контрольные вопросы

A large grid of graph paper, consisting of 30 columns and 40 rows of small squares, intended for writing answers to control questions.



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Практическое занятие № 2 «Влияние коэффициента включения на форму АЧХ и параметры параллельного контура»	Зачет

1. Цель занятия

Рассчитать основные параметры параллельного контура и построить АЧХ с учетом влияния внутреннего сопротивления генератора R_i и сопротивления шунта $R_{ш}$, при полном и неполном включении контура.

2. Порядок выполнения работы

2.1 Рассчитать параметры параллельного контура со следующими данными:

- сопротивление потерь [Ом] $R =$
- сопротивление источника [Ом] $R_i =$
- сопротивление шунта [Ом] $R_{ш} =$
- индуктивность контура [мкГн] $L =$
- емкость контура [пФ] $C =$

2.2 Результаты расчетов.

Таблица 1

Без учета R_i ($R_i = \infty$) без $R_{ш}$

Волновое сопротивление контура [Ом]	$Z_{в} =$
Резонансная частота [кГц]	$f_{рез} =$
Добротность контура	$Q =$
Полоса пропускания [кГц]	$\Pi =$
Резонансное сопротивление [Ом]	$Z_{кр} =$

Таблица 2

Полное включение контура $R_i =$ без $R_{ш}$

Эквивалентная добротность	$Q_{экр} =$
Эквивалентная полоса пропускания [кГц]	$\Pi_{экр} =$

Таблица 3

АЧХ контура при полном включении контура $R_i =$ без $R_{ш}$

Абсолютная расстройка, кГц						
Значение кривой избирательности						

Таблица 4

Полное включение контура $R_i =$ $R_{ш} =$

Эквивалентная добротность	$Q_{экр} =$
Эквивалентная полоса пропускания [кГц]	$\Pi_{экр} =$

Таблица 5

АЧХ контура при полном включении контура $R_i =$ $R_{ш} =$

Абсолютная расстройка, кГц						
Значение кривой избирательности						

Таблица 6

Неполное включение контура по индуктивности $R_i =$ $R_{ш} =$

	$P_1 = 0,3$	$P_2 = 0,5$
Эквивалентная добротность	$Q_{\text{экв}} =$	$Q_{\text{экв}} =$
Эквивалентная полоса пропускания [кГц]	$\Pi_{\text{экв1}} =$	$\Pi_{\text{экв2}} =$

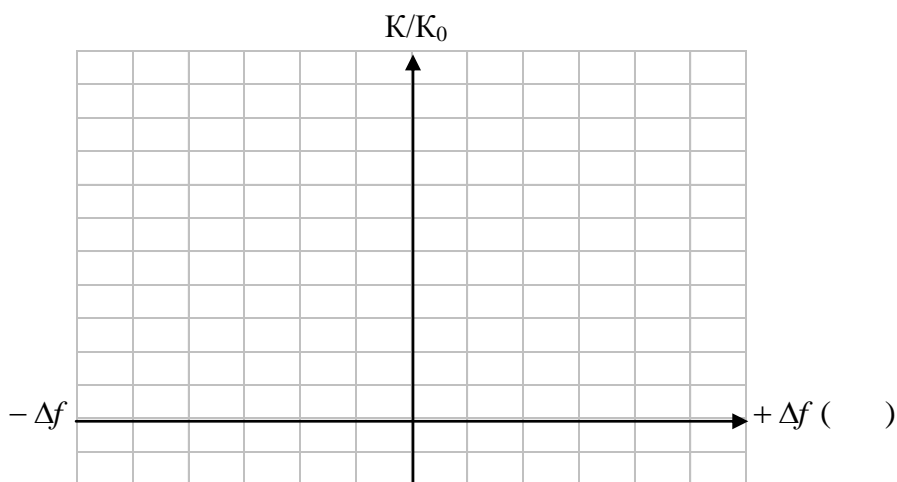
Таблица 7

АЧХ контура при неполном включении контура по индуктивности

$R_i =$ $R_{ш} =$

Абсолютная расстройка, кГц						
Значение кривой избирательности при $p = 0,3$						
Значение кривой избирательности при $p = 0,5$						

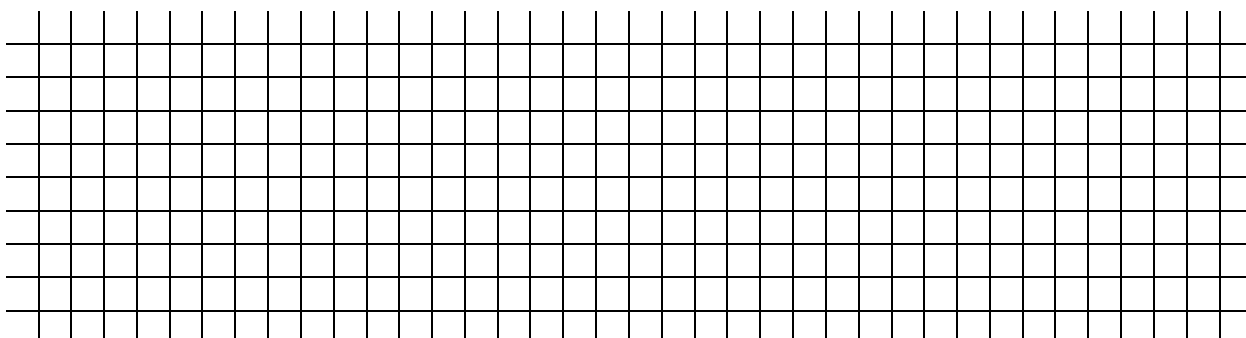
3. АЧХ контура в относительной системе координат.

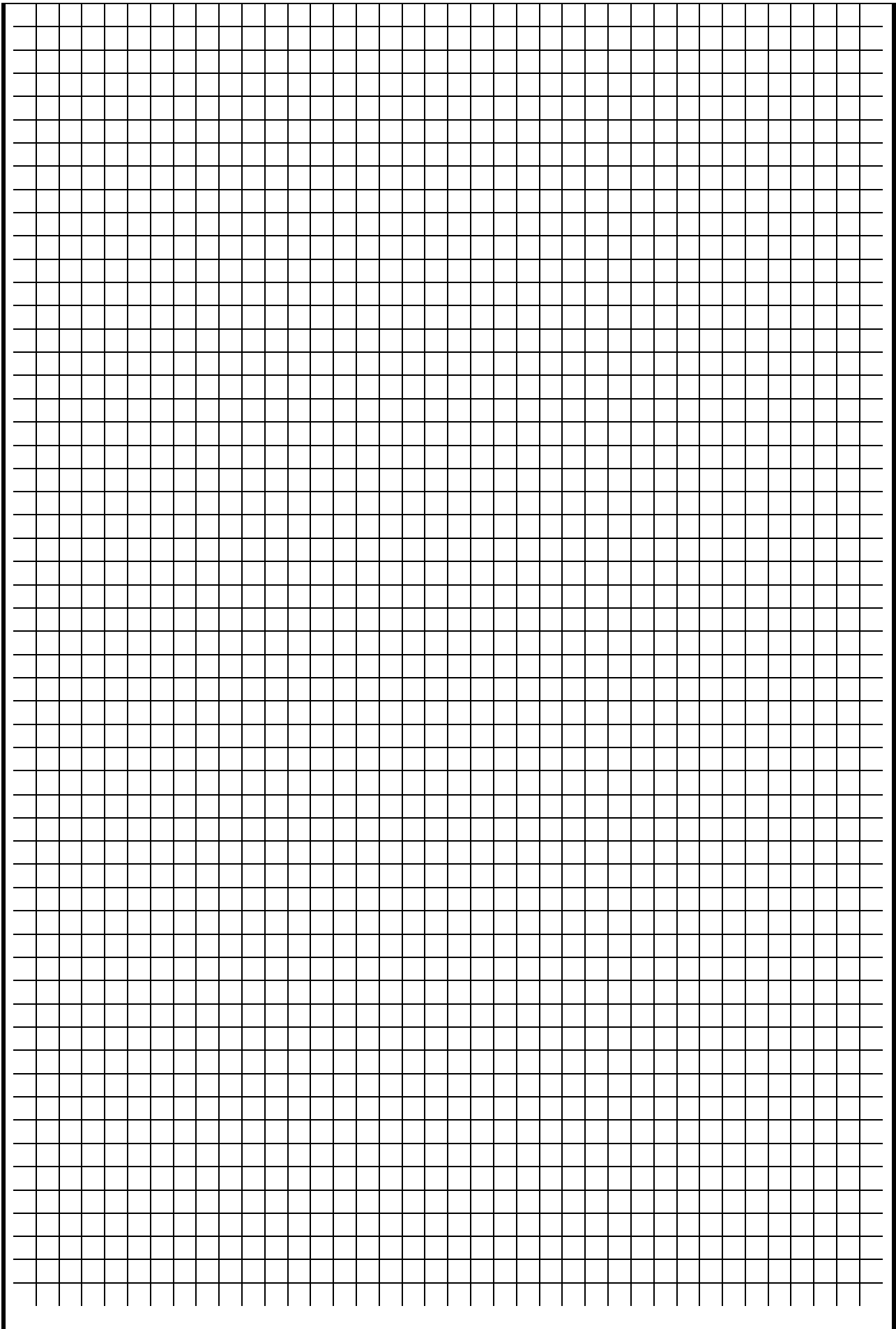


4. Выводы

4.1 Как влияет величина R_i и $R_{ш}$ на добротность, полосу пропускания и избирательность контура?

4.2 Как влияет неполное включение контура на добротность, полосу пропускания и избирательность контура?





ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Способы настройки связанных контуров

1. Цель занятия

Практически изучить способы настройки связанных контуров.

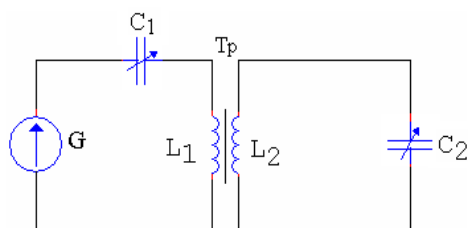


Рис. 1.

1. Краткие теоретические сведения

Связанными контурами называются два или несколько контуров, включенных таким образом, что между ними происходит обмен энергией.

Контур, в который включен генератор, называется первичным (I), контур, в который энергия поступает из первичного, называется вторичным (II). Существуют различные виды связи между контурами. Рассмотрим способы настройки на примере двух контуров с трансформаторной связью (рис. 1).

Вторичный контур является рабочим, поэтому целью настройки связанных контуров является получение максимального тока во II контуре.

Существует несколько способов настройки связанных контуров:

- первый частный резонанс;
- второй частный резонанс;
- полный резонанс;
- сложный резонанс.

Способ настройки зависит от конкретного применения связанных контуров.

Рассмотрим каждый из этих способов.

Первый частный резонанс

При этом способе настраивается в резонанс I контур при слабой связи между контурами, II контур не настраивается, связь между контурами не изменяется. Настройка I контура осуществляется изменением величины емкости конденсатора I контура C_1 . При слабой связи вносимые сопротивления малы и ими можно пренебречь. Поскольку при резонансе в I контуре его полное реактивное сопротивление $X_1 = 0$, то сопротивление I контура носит чисто активный характер и мало, а ток I контура максимален. Поскольку ЭДС, наводимая во II контуре E_2 , и ток во вторичном контуре J_2 прямо пропорциональны току I контура, то ток J_2 будет тоже максимален. Резонансные кривые I и II контуров при I частном резонансе изображены на рис. 2.

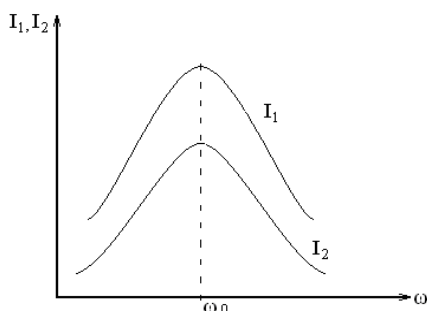


Рис. 2

Резонансные кривые I и II контуров при I частном резонансе изображены на рис. 2.

Второй частный резонанс

При втором частном резонансе настраивается в резонанс II контур при слабой связи между контурами, I контур не настраивается, связь между контурами не изменяется. Настройка II контура осуществляется изменением величины емкости конденсатора II контура C_2 . При этом полное сопротивление II контура станет чисто активным и минимальным, а ток J_2 – максимальным. Увеличение тока J_2 сопровождается ростом ЭДС, индуцируемой в I контуре, а вместе с ней растет и сопротивление, вносимое из II контура, вследствие чего уменьшается ток в I контуре. Резонансные кривые I и II контуров при II частном резонансе

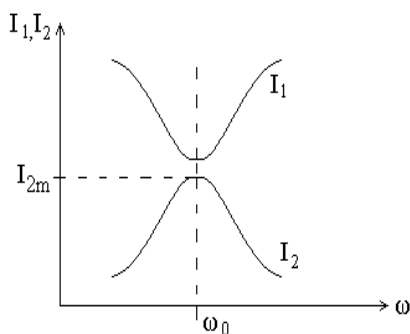


Рис. 3

изображены на рис. 3.

Полный резонанс

При полном резонансе при слабой связи между контурами настраивается в резонанс I контур, затем II контур, после чего усиливается связь между контурами до получения максимально возможного тока во II контуре $I_{2\max m}$ (максимум-максимум).

Полный резонанс достигается при критической связи.

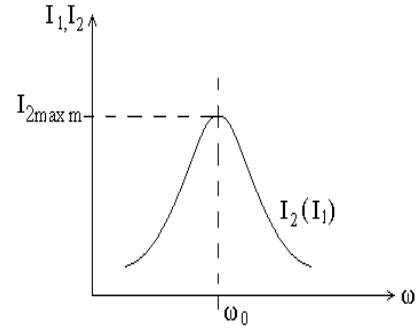


Рис. 4

Критический коэффициент связи $K_{кр}$ можно рассчитать через параметры контуров

$$K_{кр} = \frac{1}{\sqrt{Q_1 Q_2}},$$

где Q_1 и Q_2 соответственно добротности I и II контуров.

При этом ток $I_{2\max m}$, полученный в результате настройки

$$I_{2\max m} = \frac{E}{2\sqrt{R_1 R_2}}.$$

Резонансные кривые I и II контуров при полном резонансе и условии $R_1 = R_2$ изображены на рис. 4.

Сложный резонанс

При сложном резонансе сначала устанавливают один из частных резонансов, а затем устанавливают связь между контурами до получения максимально возможного тока во II контуре $I_{2\max m}$. Этот способ настройки достигается при более сильной связи между контурами, $K > K_{кр}$. При этом величина тока во II контуре $I_{2\max m}$ получается такой же, как и при полном резонансе.

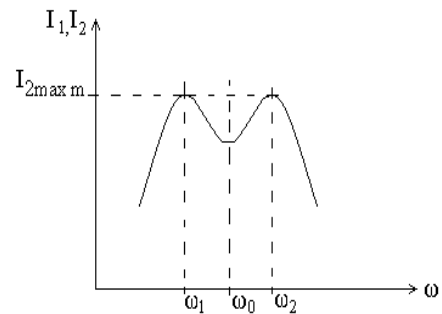


Рис. 5

$$I_{2\max m} = \frac{E}{2\sqrt{R_1 R_2}}$$

Однако резонанс возникает не на частотах настройки контуров ω_0 , а на двух частотах ω_1 и ω_2 , называемых частотами связи, в результате чего форма АЧХ изменяется, становится двугорбой.

Резонансная кривая II контура при сложном резонансе изображена на рис. 5.

Рассмотрим причину возникновения двух резонансных частот ω_1 и ω_2 при сильной связи. Резонанс на частоте ω_1 , меньшей собственной частоты колебаний контура ω_0 ($\omega_1 < \omega_0$) наступает вследствие того, что на этой частоте собственное емкостное реактивное сопротивление I контура X_1 оказывается равным по модулю индуктивному вносимому сопротивлению из II контура $\Delta X_{вн}$.

$$[X_I] = [\Delta X_{вн}].$$

Следовательно, полное реактивное сопротивление I контура X равно нулю, что соответствует условию резонанса. На частоте $\omega_2 > \omega_0$ собственное реактивное сопротивление I контура носит индуктивный характер, а вносимое – емкостный, и по модулю они равны:

$$[X_I] = [\Delta X_{вн}],$$

поэтому полное реактивное сопротивление I контура обращается в ноль $X = 0$.

3. Контрольные вопросы

- 3.1 Что называется связанными контурами?
- 3.2 Какой контур называется первичным, какой вторичным?
- 3.3 Какова цель настройки связанных контуров?
- 3.4 Опишите способ настройки: первый частный резонанс.
- 3.5 Опишите способ настройки: второй частный резонанс.
- 3.6 Опишите способ настройки: полный резонанс.
- 3.7 Опишите способ настройки: сложный резонанс.

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор Г4-102.
- 4.2 Милливольтметр ВЗ-38.
- 4.3 Исследуемый макет.

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 6).

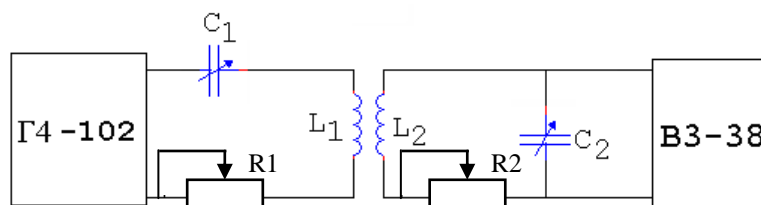


Рис. 6

5.2 Настроить связанные контуры, применив способ настройки – II частный резонанс, для чего:

- 5.2.1 Установить слабую связь между контурами.
- 5.2.2 Установить частоту генератора 200 кГц.
- 5.2.3 Изменяя величину емкости конденсатора C_1 , настроить первичный контур в резонанс по максимуму напряжения на конденсаторе вторичного контура U_{C_2} .
- 5.2.4 Установить минимальное значение сопротивления резисторов R_1 и R_2 .
- 5.2.5 Снять зависимость напряжения на конденсаторе II контура U_{C_2} от частоты генератора, перестраивая генератор с шагом 5 кГц. Измерения проводить до достижения $U_{C_2} = 0,5 U_{C_{2max}}$.
- 5.2.6 Результаты измерений занести в табл. 1 (2-4).

Таблица 1 (2-4)

$f_2, \text{кГц}$	200	205	210	195	190	185			
$U_{C_2}(\text{В})$											

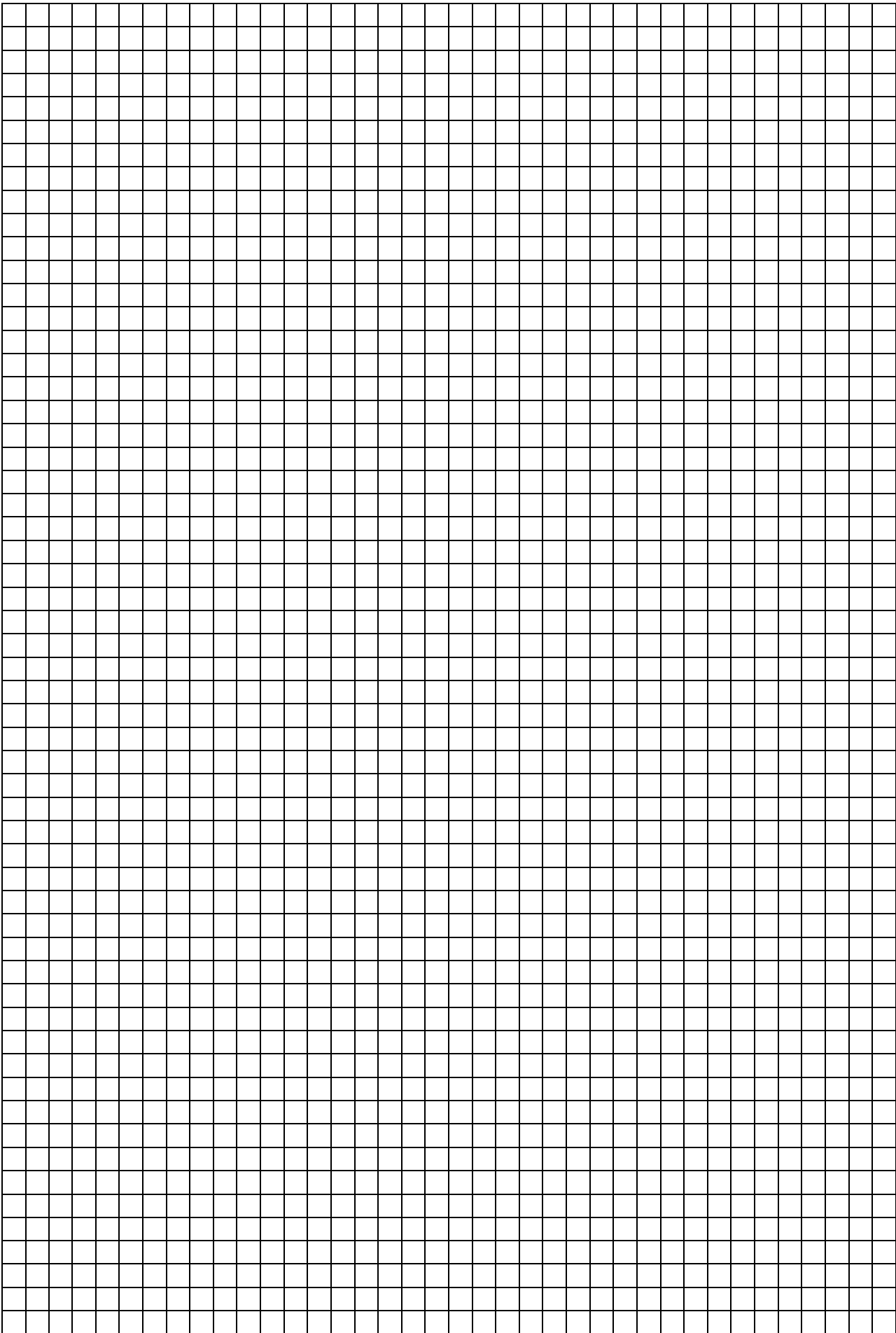
- 5.3 Настроить связанные контуры, применив способ настройки – II частный резонанс, для чего:
- 5.3.1 Установить слабую связь между контурами.
 - 5.3.2 Установить частоту генератора 200 кГц.
 - 5.3.3 Изменяя величину емкости конденсатора C_2 , настроить II контур в резонанс по максимуму напряжения на конденсаторе II контура U_{C_2} .
 - 5.3.4 Повторить пункты 5.2.4-5.2.6, заполнить табл. 2 (аналогично табл. 1).
- 5.4 Настроить связанные контуры, применив способ настройки – полный резонанс, для чего:
- 5.4.1 Установить слабую связь между контурами.
 - 5.4.2 Установить частоту генератора 200 кГц.
 - 5.4.3 Изменяя величину емкости конденсатора C_1 , настроить I контур в резонанс по максимуму напряжения на конденсаторе II контура U_{C_2} .
 - 5.4.4 Изменяя величину емкости конденсатора C_2 , настроить II контур в резонанс по максимуму напряжения U_{C_2} .
 - 5.4.5 Усилить связь между контурами до получения максимально возможного напряжения на конденсаторе II контура U_{C_2} . Это произойдет при критической связи.
 - 5.4.6 Повторить пункты 5.2.4-5.2.6, заполнить табл. 3 (аналогично табл. 1)
- 5.5 Настроить связанные контуры, применив способ настройки – сложный резонанс, для чего:
- 5.5.1 Установить слабую связь между контурами.
 - 5.5.2 Установить частоту генератора 200 кГц.
 - 5.5.3 Изменяя величину емкости конденсатора C_2 , настроить II контур в резонанс по максимуму напряжения на конденсаторе II контура.
 - 5.5.4 Усилить связь между контурами до получения напряжения на конденсаторе II контура U_{C_2} равного $0,7 U_{C_{2max}}$ на $f = 200$ кГц.
 - 5.5.5 Повторить пункты 5.2.4-5.2.6, заполнить табл. 4 (аналогично табл. 1).
- 5.6 По результатам измерений (табл. 1-4) построить резонансные кривые II контура в абсолютной системе координат при различных способах настройки.

6. Содержание отчета

- 6.1 Название работы.
- 6.2 Цель работы.
- 6.3 Приборы, используемые при измерениях.
- 6.4 Схема измерений.
- 6.5 Результаты измерений (табл. 1-4).
- 6.6 Резонансные кривые II контура при разных способах настройки.
- 6.7 Вывод о целях и способах настройки связанных контуров, о величине напряжения и форме резонансных кривых при различных способах настройки связанных контуров.

Ответы на контрольные вопросы

A large grid of graph paper, consisting of 30 columns and 40 rows of small squares, intended for writing answers to control questions.



ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Исследование влияния коэффициента связи на форму резонансных кривых и полосу пропускания связанных контуров

1. Цель занятия

Практически исследовать влияние коэффициента связи на форму резонансных кривых вторичного контура и величину полосы пропускания.

2. Краткие теоретические сведения

Поскольку в связанных контурах рабочим является II контур, то наибольший практический интерес имеют резонансные кривые II контура.

Резонансные кривые II контура по току (по напряжению) в абсолютных координатах называются кривые, показывающие зависимость амплитуды тока во II контуре I_2 (амплитуды напряжения на конденсаторе II контура U_{c2}) от частоты генератора при различных коэффициентах связи.

Резонансными кривыми II контура по току (по напряжению) в относительных координатах называются кривые, показывающие зависимость отношения I_2/I_{2max} (U_{c2}/U_{c2max}) от какой-либо расстройки при различных коэффициентах связи.

Форма резонансных кривых связанных контуров определяется не только добротностью, но и коэффициентом связи между контурами.

При коэффициенте связи меньше критического ($K_1 < K_{кр}$), форма резонансных кривых такая же, как и у одиночного контура. При увеличении коэффициента связи до $K_{кр}$, увеличивается I_2 и, соответственно, U_{c2} , однако форма резонансных кривых не изменяется и остается такой же, как у одиночного контура. При дальнейшем увеличении коэффициента связи при $K_2 > K_{кр}$ форма резонансных кривых изменяется, становится двугорбой (рис. 1).

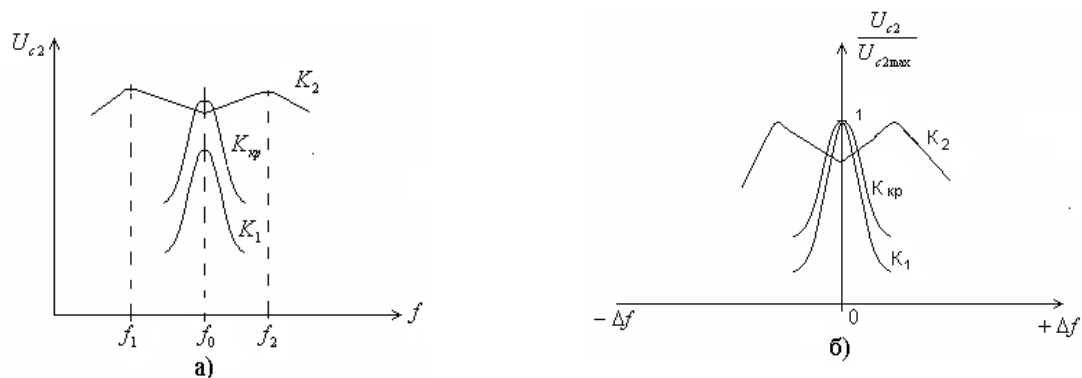


Рис. 1

Причиной изменения формы резонансных кривых при связи больше критической является появление двух резонансных частот f_1 и f_2 , называемых частотами связи. При дальнейшем увеличении коэффициента связи форма резонансных кривых остается двугорбой, однако «горбы» раздвигаются, так как частоты связи f_1 и f_2 все более удаляются от частоты собственной настройки контуров f_0 . Причиной этого является то, что с увеличением коэффициента связи возрастает величина реактивного вносимого сопротивления $\Delta X_{вн}$ из II контура в I, и требуется все большая расстройка для выполнения равенства $[X_I] = [\Delta X_{вн}]$, т.е. для того, чтобы реактивное сопротивление первичного контура стало равно нулю, что соответствует условию резонанса. На частоте f_0 «провал» увеличивается, так как с увеличением коэффициента связи возрастает вносимое активное сопротивление $\Delta R_{вн}$ из II контура в I (рис. 2).

Полосой пропускания связанных контуров называется полоса частот, в пределах которой ток во II контуре (I_2) или напряжение на реактивных элементах контура (U_{c2}) уменьшается по сравнению с максимальным значением не более, чем в $\sqrt{2}$ раз.

Полоса пропускания связанных контуров зависит от коэффициента связи $K_{св}$. Чем больше $K_{св}$, тем больше полоса пропускания связанных контуров (рис. 3).

Анализ показывает, что если $K_{св} < 0,68 K_{кр}$, то полоса пропускания связанных контуров $\Pi_{св}$ меньше, чем полоса пропускания одиночного контура Π с такой же добротностью. Так, например, при $K_{св} = 0,1 K_{кр}$ $\Pi_{св} = 0,65 \Pi$. Увеличение коэффициента связи приводит к расширению полосы пропускания и при $K_{св} = 0,68 K_{кр}$ $\Pi_{св} = \Pi$. При критической связи полоса пропускания связанных контуров $\Pi_{кр}$ в 1,41 раза больше, чем одиночного контура. При связи выше критической полоса пропускания становится еще шире и достигает максимума (Π_{max}), когда U_{c2} становится равным $0,7 U_{c2max}$ на частоте f_0 . При этом $K_{св} = 2,41 K_{кр}$ и $\Pi_{max} = 3,1 \Pi$.

Возможность изменения ширины полосы пропускания плавной или дискретной регулировкой связи является важным преимуществом связанных контуров перед одиночными. Причем в связанных контурах можно получить такую же полосу пропускания, как в одиночном контуре, но при более высокой добротности (примерно в 3 раза большей), т.е. форма резонансных кривых связанных контуров ближе к идеальной (прямоугольной), а, следовательно, избирательность связанных контуров больше, чем одиночного.

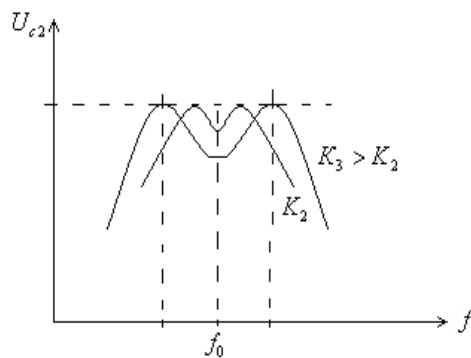


Рис. 2

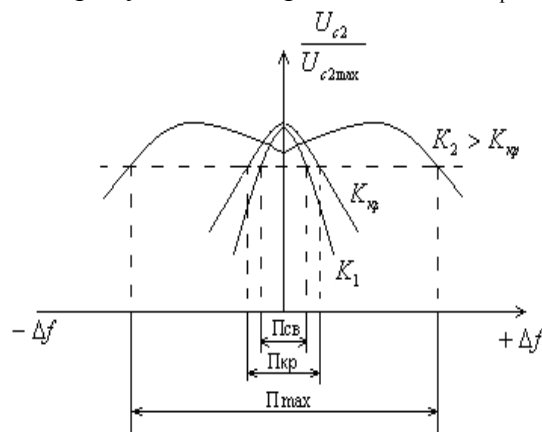


Рис. 3

3. Контрольные вопросы

- 3.1 Дайте определение резонансных кривых связанных контуров в абсолютных координатах.
- 3.2 Дайте определение резонансных кривых связанных контуров в относительных координатах.
- 3.3 Как зависит форма резонансных кривых от величины коэффициента связи между контурами?
- 3.4 Объясните появление двух максимумов в резонансных кривых при сильной связи ($K_{св} > K_{кр}$).
- 3.5 Почему при $K_{св} > K_{кр}$ с увеличением коэффициента связи «горбы» на АЧХ раздвигаются?
- 3.6 Дайте определение полосы пропускания связанных контуров.
- 3.7 Как полоса пропускания связанных контуров зависит от величины коэффициента связи?
- 3.8 Какова избирательность связанных контуров по сравнению с одиночным?

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор Г4-102.
- 4.2 Милливольтметр ВЗ-38.
- 4.3 Исследуемый макет.

1. Порядок выполнения работы

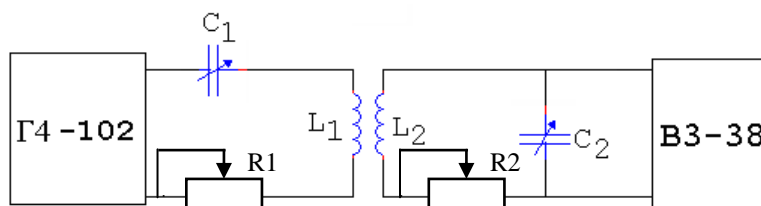


Рис. 4

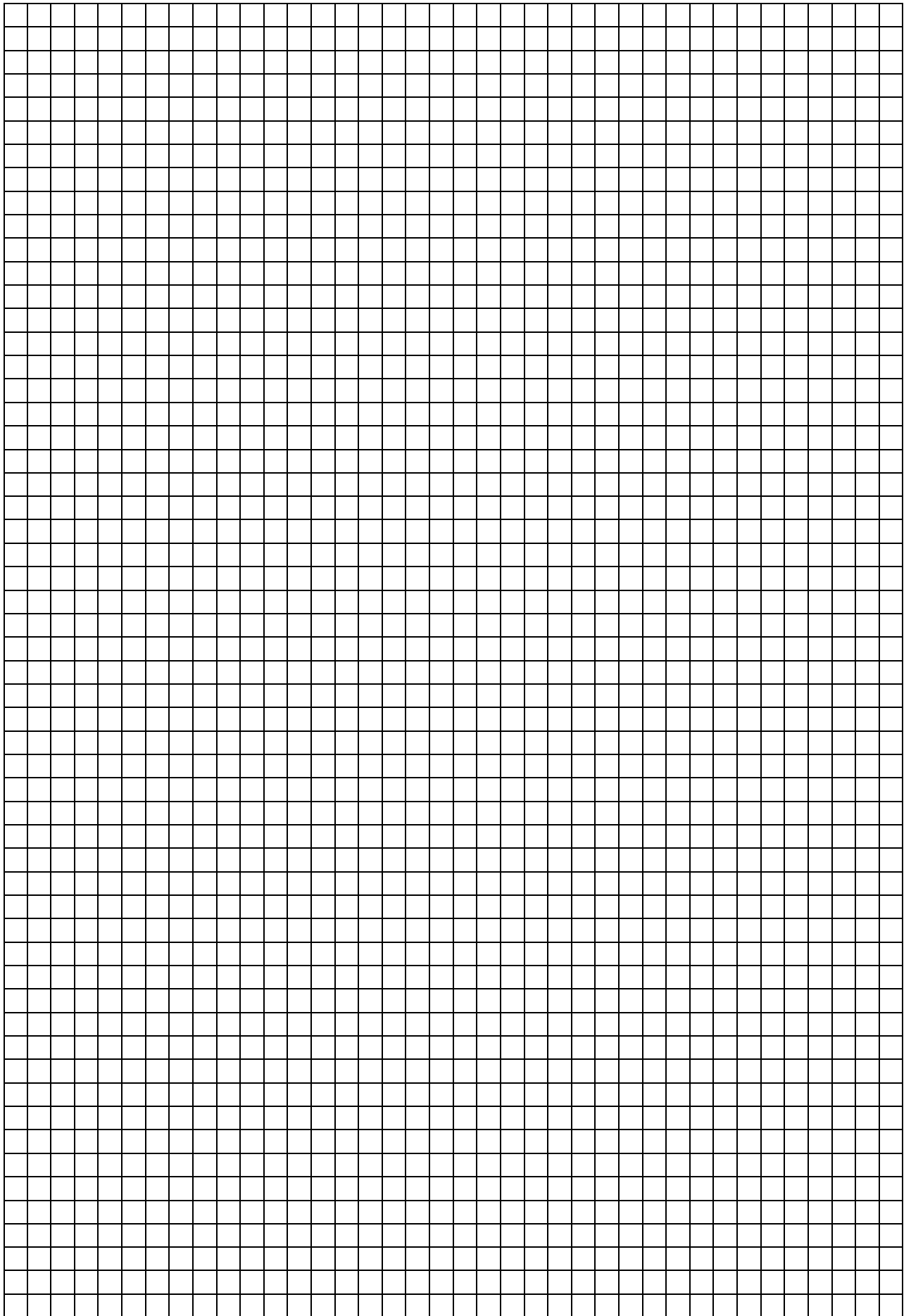
- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 4).
- 5.2 Установить частоту генератора 200 кГц.
- 5.3 Настроить в резонанс II контур при слабой связи между контурами.
- 5.4 Измерить резонансную кривую II контура при слабой связи ($K < K_{кр}$).
- 5.5 Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

f_2 (кГц)	$U_{с2}$, В			
	$K < K_{кр}$	$K = K_{кр}$	$K_1 > K_{кр}$	$K_2 > K_1$
200				
195				
190				
.....				
205				
210				
215				
.....				

- 5.6 Усилить связь до критической.
- 5.7 Измерить резонансную кривую II контура при критической связи ($K = K_{кр}$).
- 5.8 Результаты измерений занести в табл. 1.
- 5.9 Установить сильную связь между контурами (больше критической, $K_1 > K_{кр}$).
- 5.10 Измерить резонансную кривую II контура при сильной связи $K_1 > K_{кр}$.
- 5.11 Результаты измерений занести в табл. 1.
- 5.12 Установить более сильную связь между контурами $K_2 > K_1$.
- 5.13 Измерить резонансную кривую связанных контуров при коэффициенте связи $K_2 > K_1$.
- 5.14 Результаты измерений занести в табл. 1.
- 5.15 По результатам измерений (табл. 1) рассчитать резонансные кривые связанных контуров в относительных координатах при четырёх значениях коэффициентах связи:
 - $K < K_{кр}$
 - $K = K_{кр}$
 - $K > K_{кр}$
 - $K_2 > K_1$

Результаты вычислений занести в табл. 2.



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО <hr/>	Лабораторное занятие № 5, 6 «Способы настройки связанных контуров. Исследование влияния коэффициента связи на форму резонансных кривых связанных контуров»	Зачет

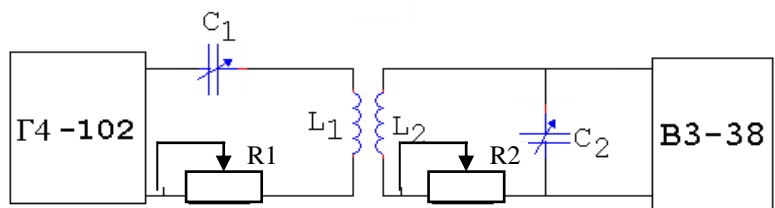
1. Цель занятия

Познакомиться со способами настройки связанных контуров. Исследовать влияние коэффициента связи на форму резонансных кривых и параметры контура.

2. Перечень приборов и оборудования

- 2.1 Генератор Г4-102.
- 2.2 Милливольтметр В3-38.
- 2.3 Колебательный контур (макет).

2. Схемы измерений



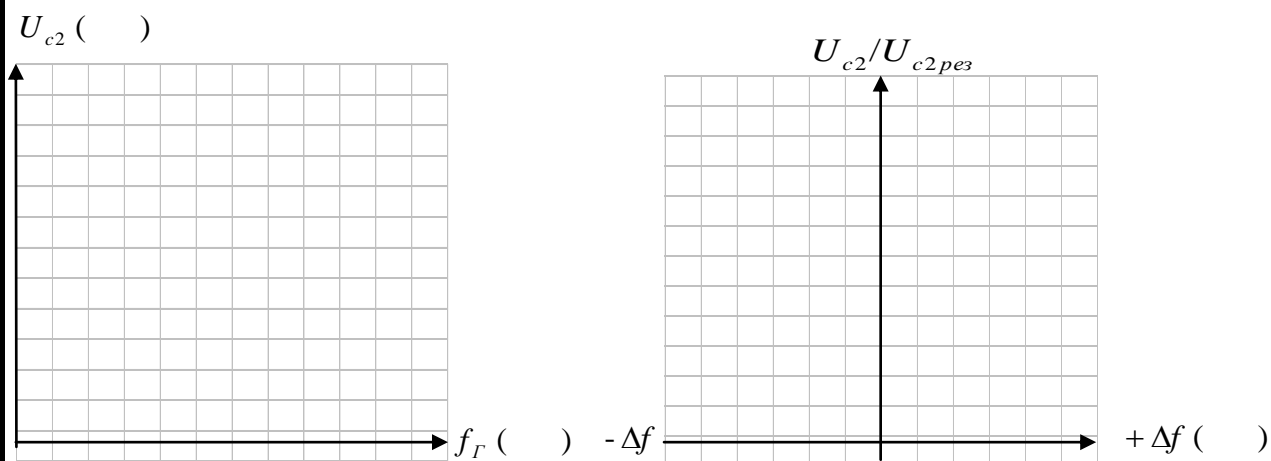
4. Результаты измерений

Таблица 1

Резонансные кривые в абсолютной и относительной системе координат

f_r , кГц																				
Δf , кГц																				
U_{c2} , В	$K_{св} < K_{кр}$																			
	$K_{кр}$																			
	$K_{св} > K_{кр}$																			
$U_{c2}/U_{c2 рез}$	$K_{св} < K_{кр}$																			
	$K_{кр}$																			
	$K_{св} > K_{кр}$																			

5. Резонансные кривые контура в абсолютной и относительной системе координат



6. Результаты вычислений

6.1 При $K_{св} < K_{кр}$

$$f_{рез} = \quad \Pi = \quad Q = \frac{f_{рез}}{\Pi} = \quad \theta = \frac{\pi}{Q} = \pi d = \quad d = \frac{1}{Q} =$$

6.2 При $K_{кр}$

$$f_{рез} = \quad \Pi = \quad Q = \frac{f_{рез}}{\Pi} = \quad \theta = \frac{\pi}{Q} = \pi d = \quad d = \frac{1}{Q} =$$

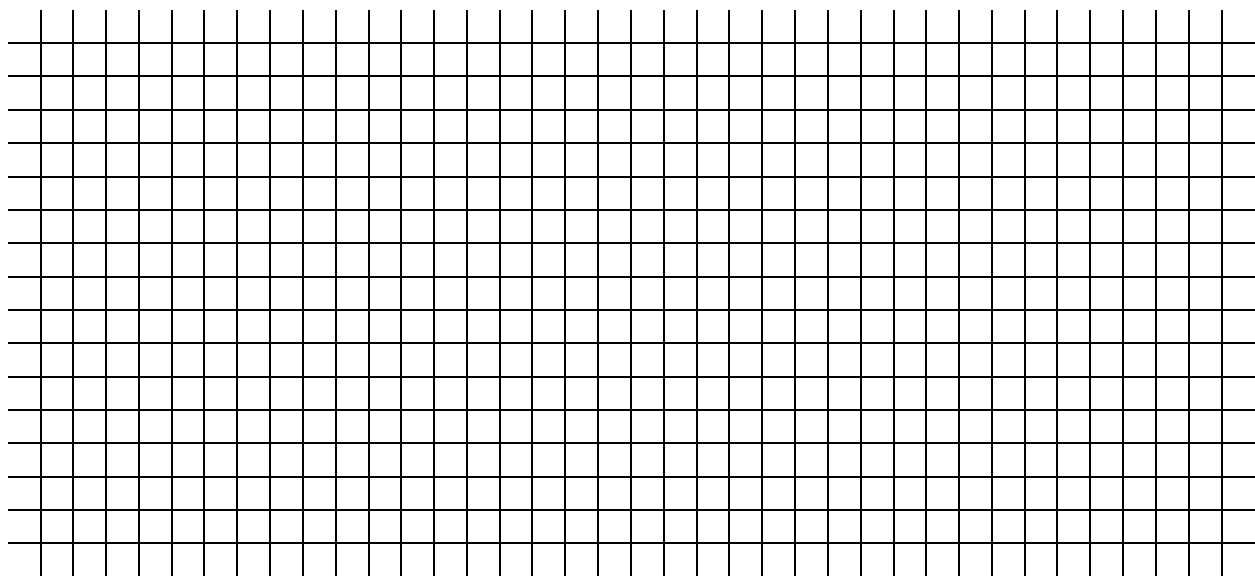
6.3 При $K_{св} > K_{кр}$

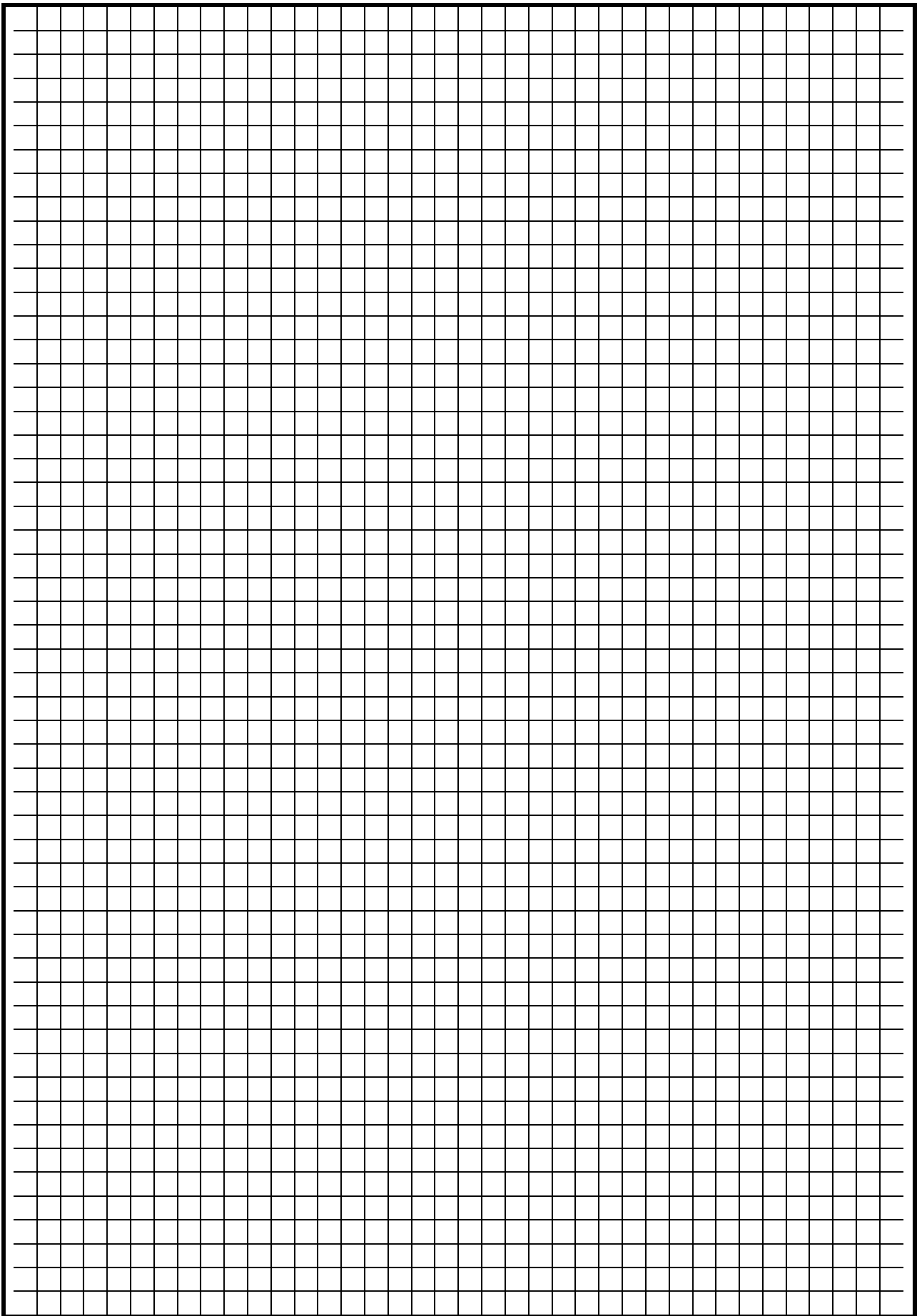
$$f_{рез} = \quad \Pi = \quad Q = \frac{f_{рез}}{\Pi} = \quad \theta = \frac{\pi}{Q} = \pi d = \quad d = \frac{1}{Q} =$$

7. Выводы

7.1 Описать способы настройки контуров.

7.2 Указать, как влияет величина $K_{св}$ на величину U_{c2} , добротность, логарифмический декремент затухания, полосу пропускания, форму резонансных кривых и избирательность связанных контуров.





ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Исследование фильтров нижних и верхних частот типа «К»

1. Цель занятия

Исследовать частотные свойства фильтров нижних и верхних частот типа «К» и влияние величины сопротивления нагрузки на частотную характеристику фильтра.

2. Краткие теоретические сведения

Электрическим фильтром называется четырехполюсник, предназначенный для передачи сигнала с минимальным ослаблением в заданной части спектра и максимальным ослаблением в остальной части спектра. Первая область частот называется полосой пропускания (пропускания), вторая – полосой задерживания (заграждения). Частота, разделяющая эти области, называется частотой среза f_{cp} .

Фильтры типа «К» – это такие фильтры, у которых произведение сопротивлений элементов, стоящих последовательно с нагрузкой Z_1 , и параллельно с нагрузкой Z_2

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 = K^2,$$

где $K = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Эквивалентная схема Г-образного звена фильтра изображена на рис. 1.

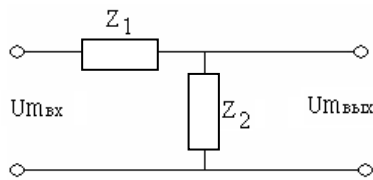


Рис. 1

Такие фильтры вносят затухание в тракт передачи сигнала, величина которого оценивается с помощью коэффициента затухания α .

Затухание α показывает степень уменьшения амплитуды напряжения от входа $U_{mвх}$ к выходу $U_{mвых}$ фильтра:

$$\alpha \text{ (дБ)} = 20 \lg (U_{mвх}/U_{mвых}).$$

О качестве фильтра судят, прежде всего, по его частотной характеристике.

Частотной характеристикой фильтра называется кривая, показывающая зависимость затухания, вносимого фильтром в тракт передачи сигналов (α), от частоты входного сигнала.

Фильтром нижних частот (ФНЧ) называется фильтр, полоса пропускания которого лежит в пределах от $f = 0$ до f_{cp} , а полоса задерживания – в остальной области частот. Частотная характеристика ФНЧ изображена на рис. 2.

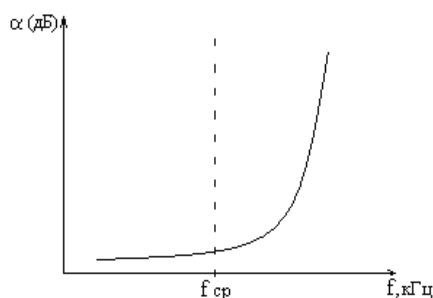


Рис. 2

Исходя из данного требования, для нижних частот последовательное сопротивление Z_1 фильтра должно быть близким к нулю для постоянной составляющей. Для верхних частот сопротивление Z_1 должно быть большим. Очевидно, этим требованиям удовлетворяет катушка индуктивности L . Наоборот, параллельное сопротивление Z_2 для постоянной составляющей и области нижних частот должно быть как можно большим, чтобы не оказывать шунтирующего влияния. В то же время для верхних частот сопротивление Z_2 должно быть малым. Этим требованиям удовлетворяет конденсатор C . Таким

образом, последовательная ветвь ФНЧ представляет собой индуктивное сопротивление $\underline{Z}_1 = j\omega L$, параллельная – емкостное $\underline{Z}_2 = 1/j\omega C$.

На рис. 3 изображены Г-, Т-, П- образные звенья ФНЧ типа «К».

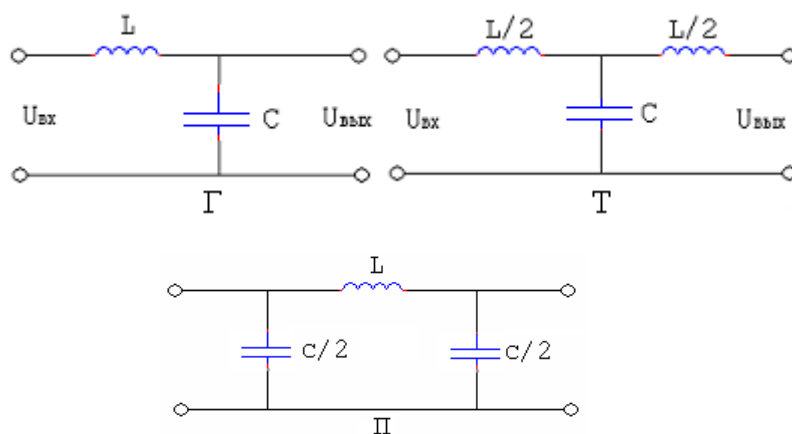


Рис. 3

Фильтром верхних частот (ФВЧ) называется фильтр, полоса пропускания которого лежит в пределах от f_{cp} до ∞ , а полоса задерживания – от 0 до f_{cp} .

Частотная характеристика ФВЧ изображена на рис. 4.

Для ФВЧ последовательная ветвь представляет собой емкостное сопротивление, а параллельная – индуктивное.

На рис. 5 изображены Г-, Т-, П-образные звенья ФВЧ типа «К».

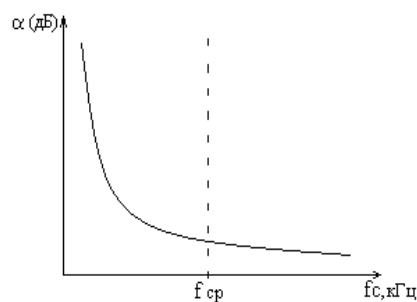


Рис. 4

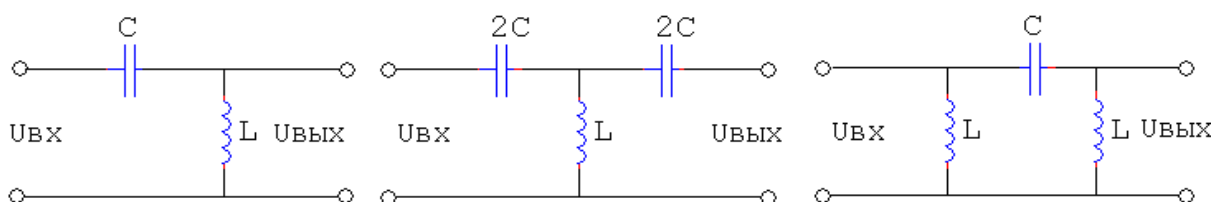


Рис. 5

Достоинством этих фильтров является простота. Однако фильтры «К» обладают рядом недостатков:

- из-за непостоянства волнового сопротивления $Z_{в}$ фильтра в полосе прозрачности невозможно согласовать фильтр с нагрузкой во всей полосе прозрачности, что приводит к неравномерности частотной характеристики в полосе прозрачности. Чем лучше согласован фильтр с нагрузкой, тем равномернее частотная характеристика фильтра в полосе прозрачности, и меньше потери в полосе прозрачности;
- в полосе задерживания затухание нарастает медленно.

3. Контрольные вопросы

3.1 Что называется электрическим фильтром?

3.2 Что такое полоса прозрачности и полоса задерживания фильтра?

3.3 Что такое затухание, вносимое фильтром. Как его рассчитать?

- 3.4 Что такое частотная характеристика?
- 3.5 Дайте определение ФНЧ.
- 3.6 Как построить звенья ФНЧ типа «К»?
- 3.7 Изобразите частотную характеристику ФНЧ.
- 3.8 Дайте определение ФВЧ.
- 3.9 Изобразите частотную характеристику ФВЧ.
- 3.10 Как построить звенья ФВЧ типа «К»?
- 3.11 Как влияет сопротивление нагрузки на частотную характеристику фильтра?

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор ГЗ-111.
- 4.2 Милливольтметр ВЗ-38.
- 4.3 Исследуемый фильтр (макет).

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Измерить частотную характеристику ФНЧ, для чего:
 - 5.1.1 Собрать схему измерений (рис. 6).

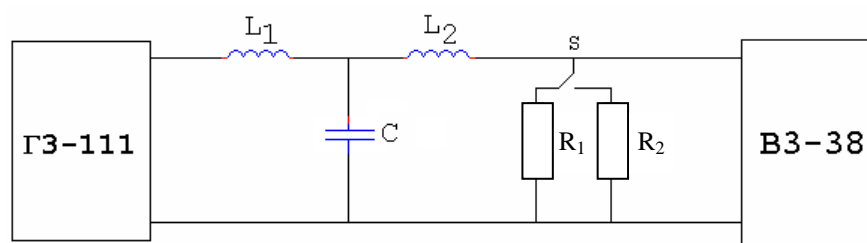


Рис. 6

5.1.2 Включить генератор и вольтметр.

5.1.3 Изменяя частоту генератора, измерить с помощью вольтметра затухание α (дБ), вносимое фильтром при двух значениях сопротивления нагрузки R1 и R2, для чего:

- установить переключатель вольтметра ВЗ-38 в положение «0» дБ;
- соединить выход генератора ГЗ-111 со входом вольтметра ВЗ-38;
- установить такое напряжение на выходе генератора ГЗ-111, которое соответствует «0» шкалы вольтметра в дБ;
- подать напряжение от генератора на вход фильтра;
- подключить вольтметр к выходу фильтра;
- в случае зашкаливания стрелки вольтметра необходимо установить переключатель вольтметра в положение, удобное для измерения. Для отсчета ослабления необходимо сложить показания шкалы и показания переключателя.

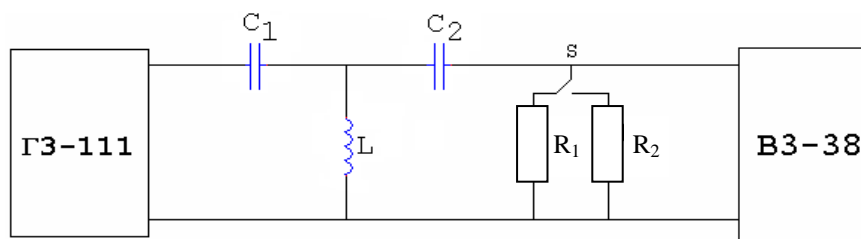
Результаты измерений занести в табл. 1.

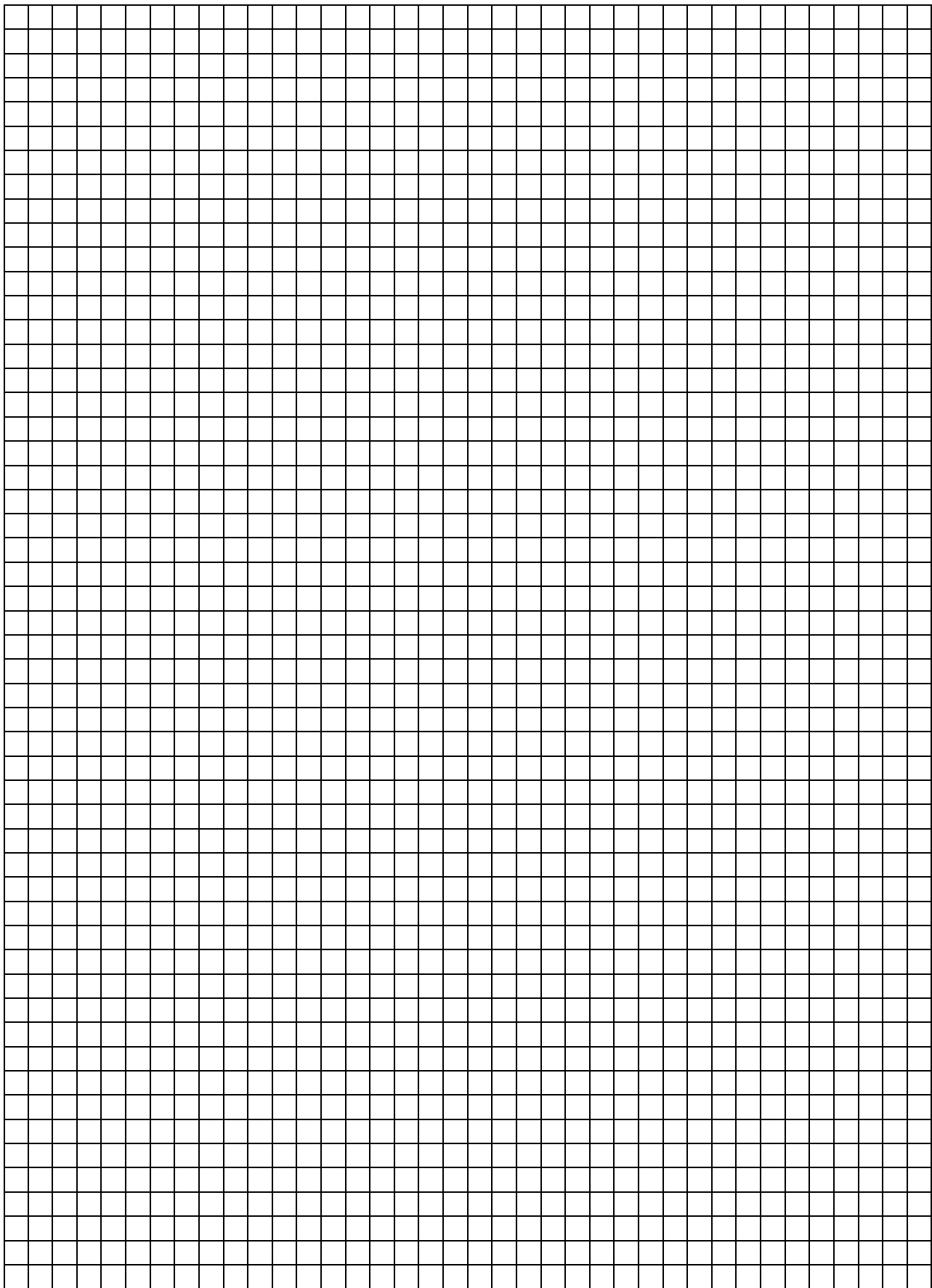
Таблица 1 (2)

$f_r, \text{кГц}$	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200
$\alpha, \text{дБ}$											
R1											
R2											

5.2 Измерить частотную характеристику ФВЧ, для чего:

- 5.2.1 Собрать схему измерений (рис. 7).





Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
--------	--------------------------	------

ФИО

Лабораторное занятие № 7
«Исследование фильтров
нижних и верхних частот типа "К"»

Зачет

1. Цель занятия

Исследовать частотные свойства фильтров нижних и верхних частот типа «К» и влияние величины сопротивления нагрузки на частотную характеристику (ЧХ) фильтра.

2. Перечень приборов и оборудования

- 2.1 Генератор Г4-102.
- 2.2 Милливольтметр ВЗ-38.
- 2.3 Исследуемый фильтр.

3. Схемы измерений

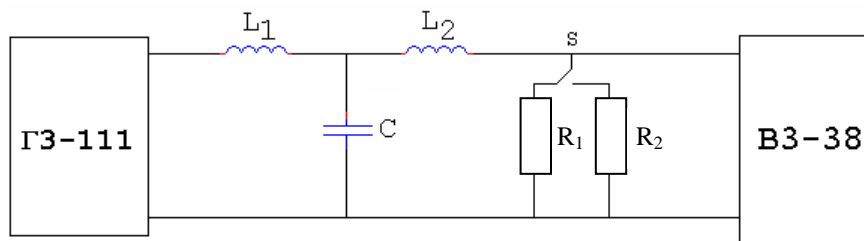


Схема измерений ЧХ ФНЧ

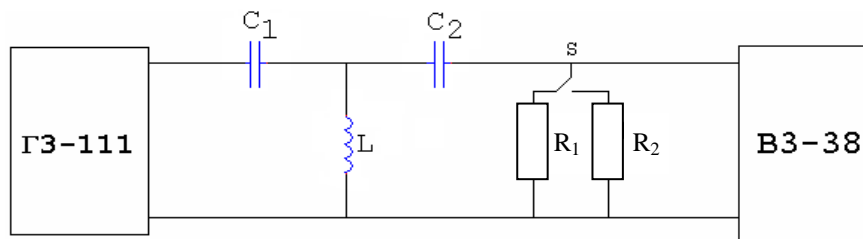


Схема измерений ЧХ ФВЧ

4. Результаты измерений

4.1 Результаты измерений ФНЧ.

Таблица 1

ЧХ ФНЧ

$f_{Г}$, кГц	0,1	1	10	20	50	100	1000	2000		
α , дБ	$R_H = R_1$									
	$R_H = R_2$									

4.2 Результаты измерений ФВЧ.

Таблица 1

Исследовать частотные свойства полосового и заграждающего фильтров типа «К» и влияние величины сопротивления нагрузки на амплитудно-частотную характеристику фильтра.

2. Краткие теоретические сведения

Полосовым (полосопропускающим) фильтром (ППФ) называется фильтр, полоса прозрачности которого лежит в пределах от f_{cp1} до f_{cp2} , а полоса задерживания в остальной части области частот.

Амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) фильтра называется кривая, показывающая зависимость коэффициента передачи фильтра по напряжению K_u от частоты входного сигнала f_c . АЧХ обратная частотной характеристике. Частотная характеристика ППФ изображена на рис. 1.

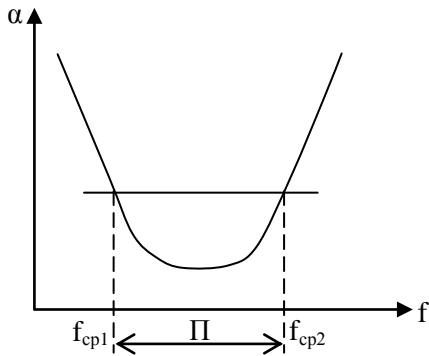


Рис. 1

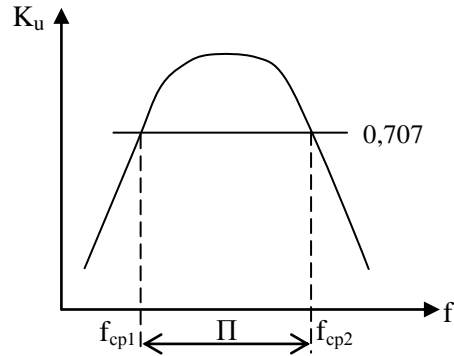


Рис. 2

АЧХ ППФ изображена на рис. 2.

Исходя из условий работы ППФ, его последовательная ветвь представляет собой последовательный колебательный контур, параллельная – параллельный контур. Г-, Т-, П-образные звенья ППФ изображены на рис. 3.

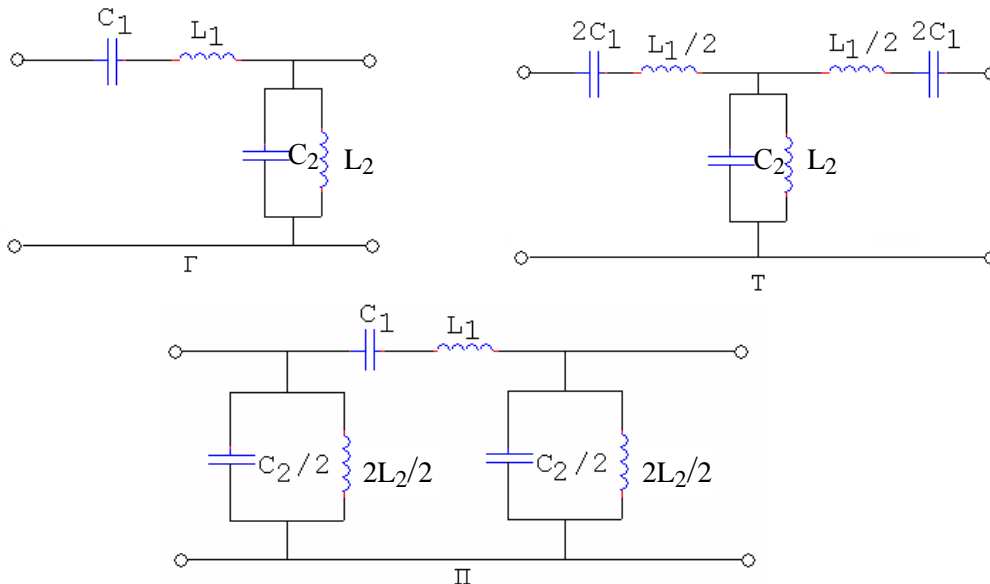


Рис. 3

Обычно эти контуры настраиваются на одну и ту же частоту f_0 , называемую средней частотой полосы пропускания:

$$f_0 = \sqrt{f_{cp1} f_{cp2}} .$$

ППФ можно рассматривать как комбинацию ФНЧ (L1,C2) и ФВЧ (C1, L2). Полоса пропускания фильтра П определяется разностью частот:

$$\Pi = f_{cp1} - f_{cp2}.$$

Так же, как и для всех фильтров типа «К», для ППФ характерна невозможность согласования фильтра с нагрузкой во всей полосе прозрачности, что приводит к неравномерности АЧХ в полосе прозрачности. В полосе задерживания затухание нарастает медленно.

Заграждающим (полосозаграждающим или режекторным) фильтром ПЗФ называется фильтр, полоса задерживания которого лежит в пределах от f_{cp1} до f_{cp2} , а полоса прозрачности в остальной области частот. Частотная характеристика ПЗФ изображена на рис. 4, а амплитудно-частотная характеристика ПЗФ – на рис. 5.

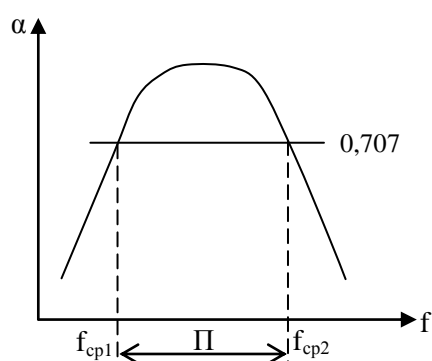


Рис. 4

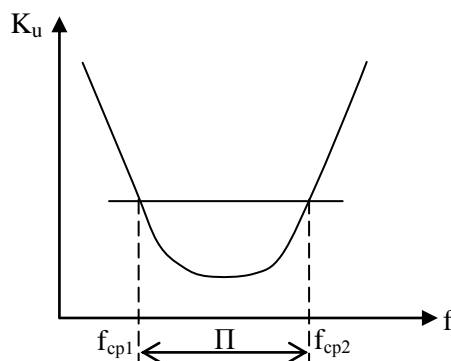


Рис. 5

Последовательная ветвь ПЗФ представляет собой параллельный контур, а параллельная ветвь – последовательный контур.

Г-, Т-, П-образные звенья ПЗФ изображены на рис. 6.

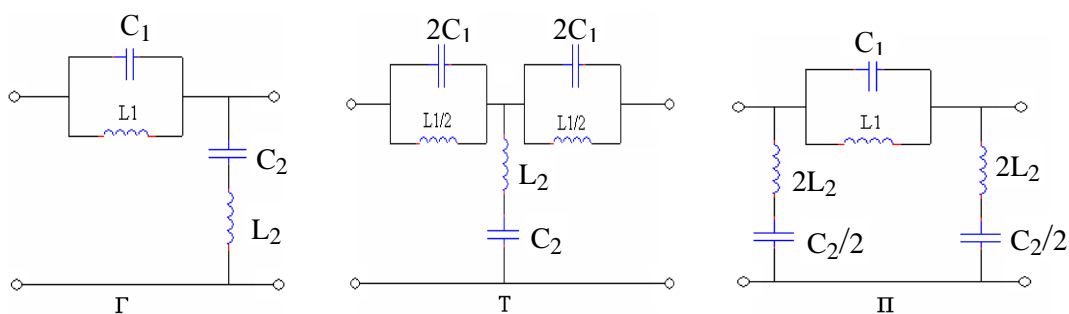


Рис. 6

Все остальное, сказанное выше о ППФ, справедливо и для ПЗФ.

3. Контрольные вопросы

- 3.1 Дайте определение полосопропускающего фильтра (ППФ).
- 3.2 Как построить звенья ППФ типа «К»?
- 3.3 Что называется полосозаграждающим фильтром (ПЗФ)?
- 3.4 Как построить звенья ПЗФ типа «К»?

- 3.5 На какую частоту настраиваются контуры ППФ и ПЗФ?
 3.6 Как можно представить ППФ и ПЗФ в виде комбинации звеньев ФНЧ и ФВЧ?
 3.7 Как влияет сопротивление нагрузки на частотные свойства ППФ и ПЗФ?

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор Г4-102.
 4.2 Милливольтметр ВЗ-38.
 4.3 Исследуемый фильтр.

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 7).

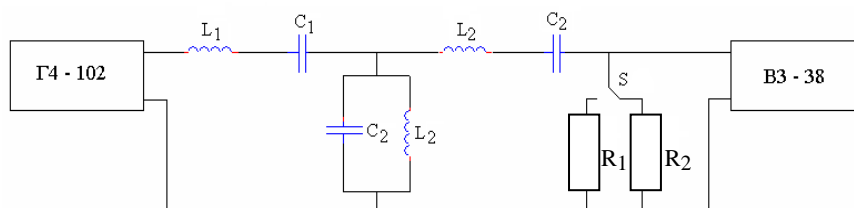


Рис. 7

5.2 Измерить амплитудно-частотную характеристику ППФ, для чего:

- 5.2.1 Изменяя частоту генератора, измерить с помощью вольтметра напряжение на выходе фильтра при двух значениях сопротивления нагрузки.
 5.2.2 Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

f_r , кГц	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700
$U_{\text{вых}}$, В										
R_1										
R_2										

5.2.3 Рассчитать коэффициент передачи фильтра:

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

Результаты вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

f_r , кГц	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700
K_u										
R_1										
R_2										

5.3 Собрать схему измерений (рис. 8).

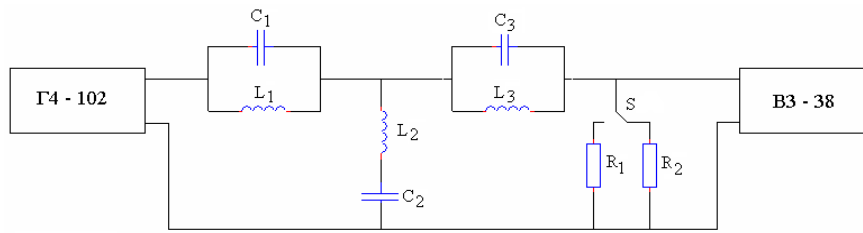


Рис. 8

5.4 Измерить амплитудно-частотную характеристику полосозаграждающего фильтра (ПЗФ), для чего повторить п.п. 5.2.1–5.2.3.

5.5 По данным табл. 2 построить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) ППФ и ПЗФ.

5.6 Определить по АЧХ полосу пропускания (на уровне 3 дБ), полосу прозрачности и частоту среза ППФ и полосу задерживания и частоту среза для ПЗФ.

5.7 Определить, с какой нагрузкой (R_1 или R_2) ППФ и ПЗФ лучше согласованы.

6. Содержание отчета

6.1 Название работы.

6.2 Цель работы.

6.3 Приборы, используемые при измерениях.

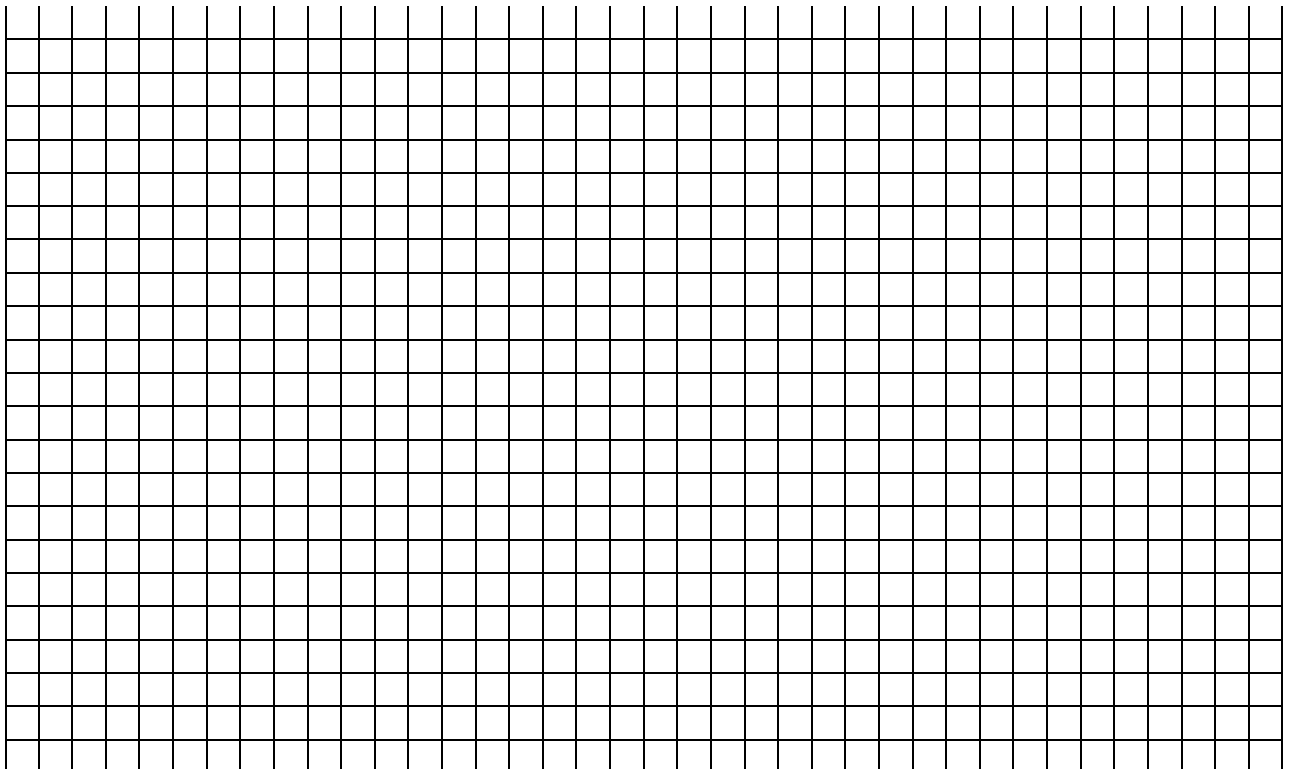
6.4 Схемы измерений.

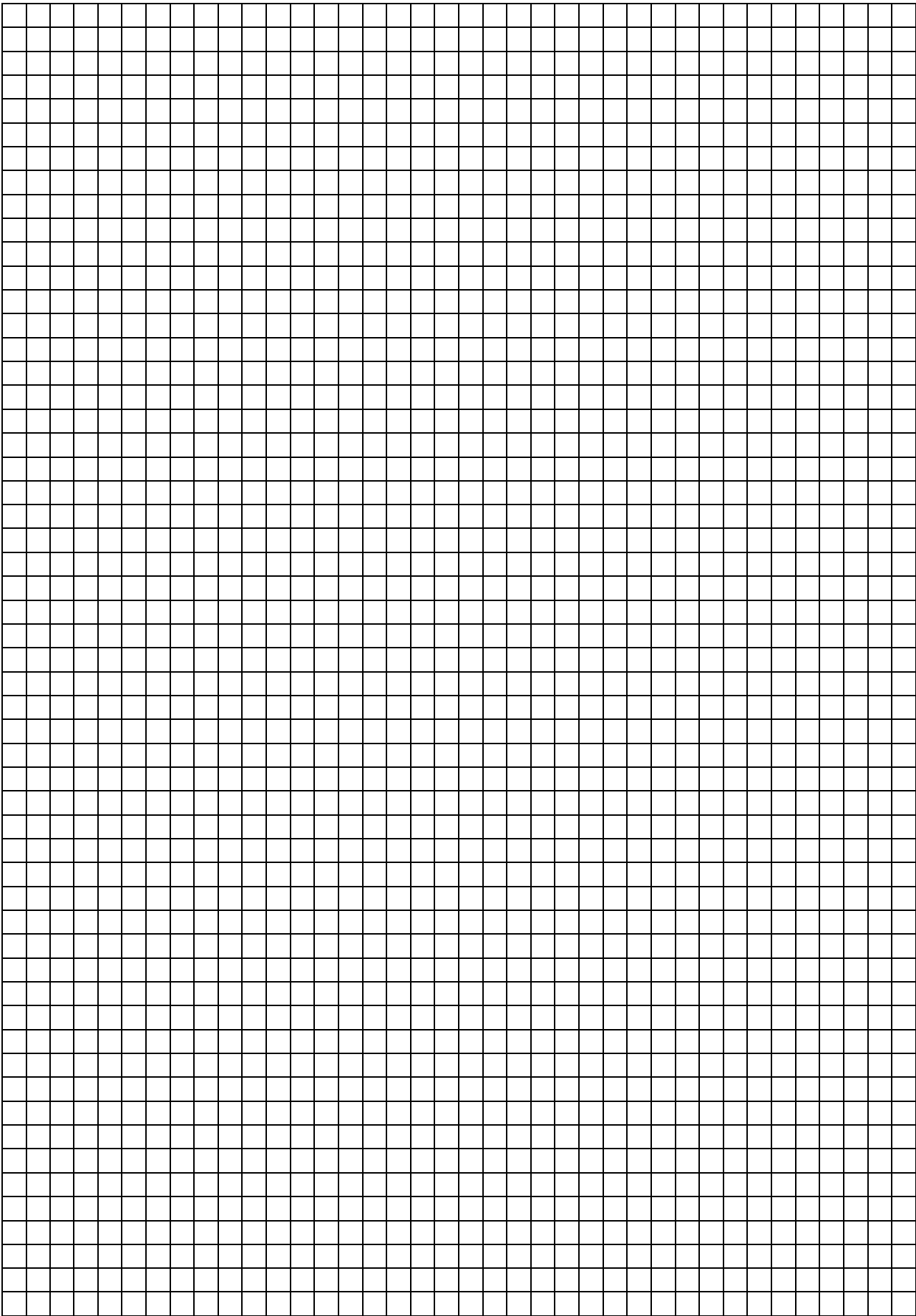
6.5 Результаты измерений (таблицы).

6.6 АЧХ ППФ и ПЗФ.

6.7 Вывод о частотных свойствах ППФ и ПЗФ и влиянии сопротивления нагрузки на их АЧХ.

Ответы на контрольные вопросы





Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № 8 «Исследование полосового и заграждающего фильтра типа "К"»	Зачет

1. Цель занятия

Исследовать частотные свойства полосового и заграждающего фильтров типа «К» и влияние величины сопротивления нагрузки на амплитудно-частотную характеристику фильтра.

2. Перечень приборов и оборудования

- 2.1 Генератор Г4-102.
- 2.2 Милливольтметр ВЗ-38.
- 2.3 Исследуемый фильтр.

3. Схемы измерений

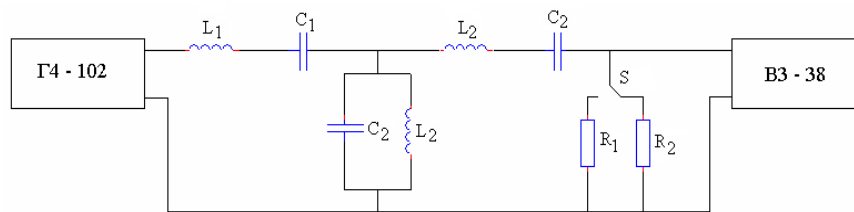


Схема измерений ППФ

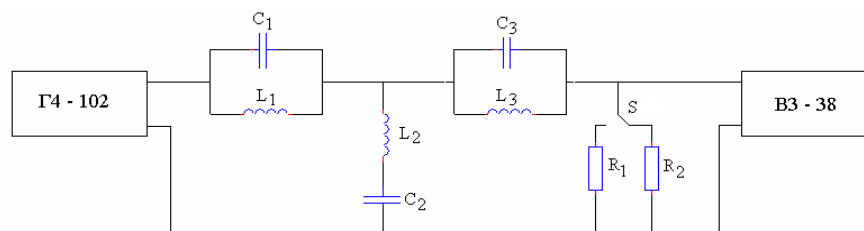


Схема измерений ПЗФ

4. Результаты измерений

4.1 Результаты измерений ППФ.

Таблица 1

Результаты измерений амплитудно-частотной характеристики ППФ

$f_{Г}$, кГц	100	150	200	250	300					
$U_{\text{вых}}$, мВ	при R_1									
	при R_2									

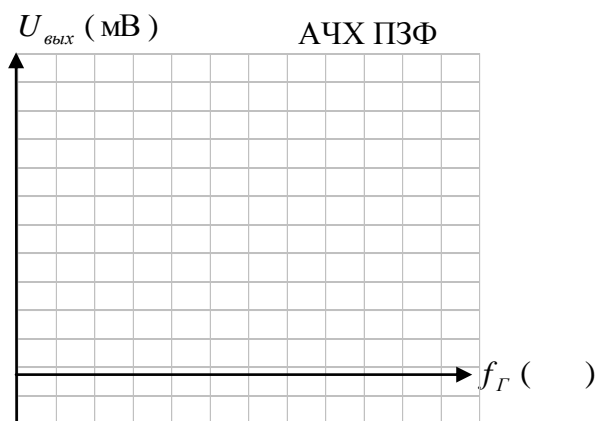
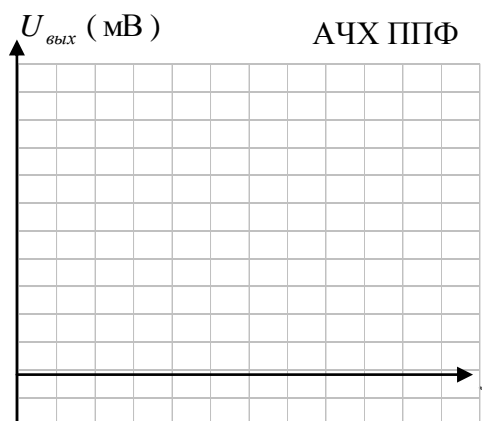
4.2 Результаты измерений ПЗФ.

Таблица 1

Результаты измерений амплитудно-частотной характеристики ПЗФ

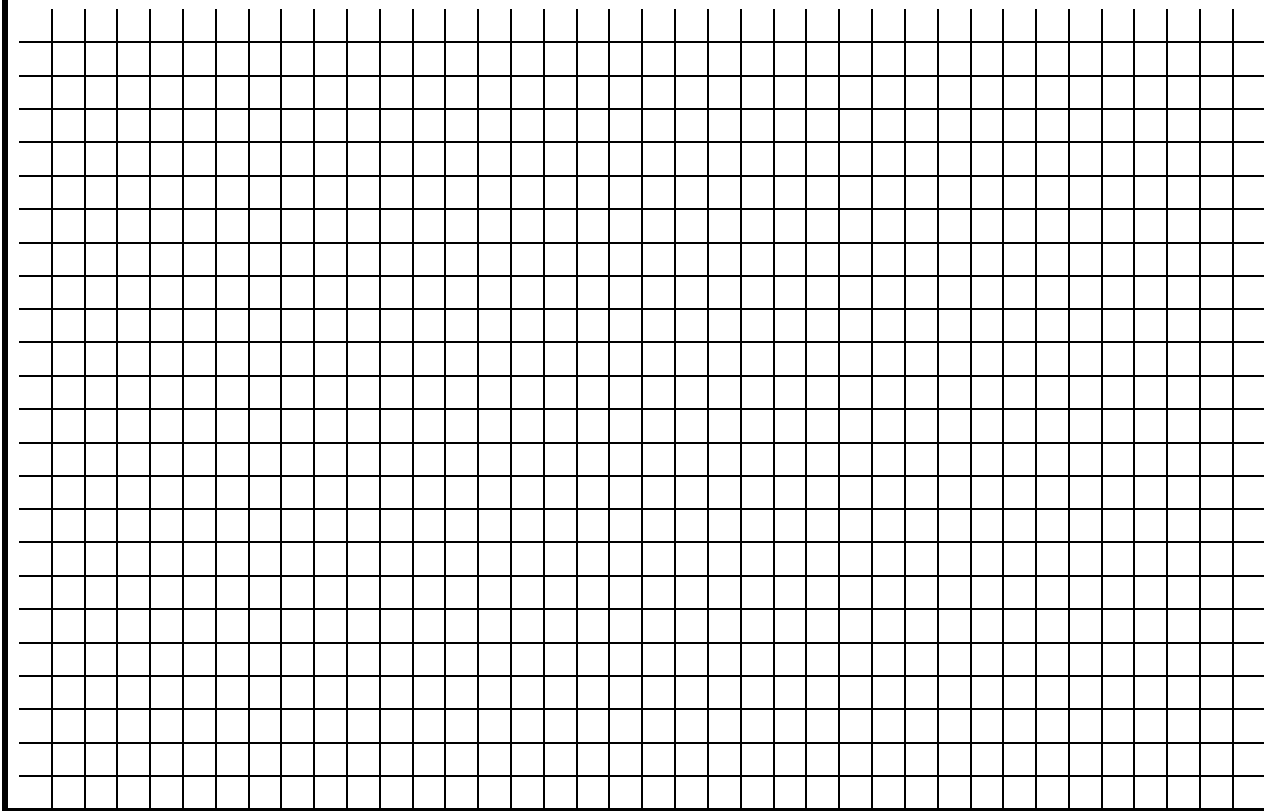
f_r , кГц	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700
$U_{\text{вых}}$, мВ										
при R_1										
при R_2										

5. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ)



6. Выводы

- 6.1 Указать полосу пропускания и полосу задерживания ППФ и ПЗФ.
- 6.2 Указать частоты среза ($f_{\text{ср}}$).
- 6.3 Определить, с какой нагрузкой фильтр лучше согласован.



Список используемой литературы

Печатные издания

1. Нефедов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для СПО / В.И. Нефедов, А.С. Сигов.- М.: Юрайт, 2020.- 267с.

Электронные издания (электронные ресурсы)

1. Нефедов В.И. Теория электросвязи: Учебник для СПО / В.И. Нефедов, А.С. Сигов.- М.: Юрайт, 2020.- 495с. - ЭБС Юрайт : <https://urait.ru>

2. Романюк В.А. Основы радиоэлектроники: учебник для СПО / В.А. Романюк.- М.: Юрайт, 2020.- 288с. - ЭБС Юрайт: <https://urait.ru>

3. Нефедов, В. И. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для среднего профессионального образования / В. И. Нефедов, А. С. Сигов ; под редакцией В. И. Нефедова. - Москва : Юрайт, 2020. - 266 с. - ЭБС Юрайт: <https://urait.ru/>

Дополнительные источники

1.«Радиотехнические цепи и сигналы», С.И. Баскаков, Москва, «URSS», 2016г.

2. «Цепи и сигналы электросвязи» П.А.Ушаков, «Academia»,М., 2016г.

3. Каганов В.И. «Радиотехнические цепи и сигналы», компьютерный курс, М.: ИНФРА-М, 2018 г.- 498с

4. «Радиотехнические цепи и сигналы (Учебное пособие)», ч.1, Н.Е. Анисимова, Ростов-на-Дону, ГБПОУ РО «РКРИПТ», 2020 г.

5. «Радиотехнические цепи и сигналы (Учебное пособие)», ч.2, Н.Е. Анисимова, Ростов-на-Дону, ГБПОУ РО «РКРИПТ», 2020 г.

6.<http://smps.h18.ru/> Библиотека Радиоэлектронщика
<http://diagram.com/> Энциклопедия радиоэлектроники и электротехники.

7.youtube.com Уроки радиоэлектроники

8.<http://www.rlocman.ru/> Радиолоцман