

**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
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

по дисциплине

ОП.14 РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ

для специальности

**11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных
приборов и устройств**

Квалификация выпускника:
специалист по электронным приборам и устройствам

Составитель:

Анисимова Н.Е.,

преподаватель высш. квалиф. кат.

ГБПОУ РО «РКРИПТ»

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Лабораторное занятие № 1. Исследование последовательного контура...	7
Лабораторное занятие № 2. Исследование параллельного контура.....	15
Лабораторное занятие № 3. Способы настройки связанных контуров.....	23
Лабораторное занятие № 4. Исследование влияния коэффициента связи на форму резонансных кривых и полосу пропускания связанных контуров	29
Лабораторное занятие № 5. Исследование фильтров нижних и верхних частот	37
Лабораторное занятие № 6. Исследование полосового и заграждающего фильтров	45
Лабораторное занятие № 7. «Исследование длинных линий».....	51
Лабораторное занятие № 8. «Исследование волноводов».....	59
Список используемой литературы.....	69

Введение

Лабораторные занятия по учебной дисциплине ОП.14 *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;
- У 3 - измерять основные характеристики и определять параметры линейных радиотехнических цепей с распределенными параметрами;
- ПО 1 - настраивать и регулировать параметры радиотехнических систем, устройств и блоков

Лабораторные занятия относятся к основным видам учебных занятий.

Выполнение студентами лабораторных 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).

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).

Содержание лабораторных занятий охватывает 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 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 предшествует проверка знаний студентов, их теоретической готовности к выполнению задания.

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

Формы организации работы обучающихся на лабораторных работах: групповая.

При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 – 3 человека.

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

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

Критерии оценки лабораторных 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.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 1 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).

Явление резонанса напряжений наступает в контуре при $fг = fo$ и $|Xc| = |XL|$.

В этом случае контур представляет для источника сигнала наименьшее сопротивление:

$$Z_{вх рез} = R.$$

Напряжение на конденсаторе в момент резонанса:

$$U_{c рез} = U_{L рез} = QU_{вх}, \quad (1)$$

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

где $Zв$ – волновое сопротивление контура,
 Q – добротность контура.

Коэффициент передачи контура по напряжению

$$K = \frac{U_{вх}}{U_{вх}}.$$

При резонансе

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

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.

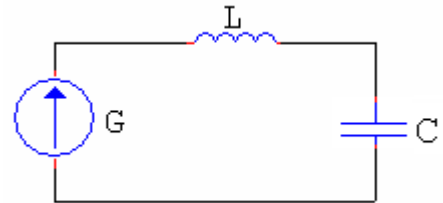


Рис. 1

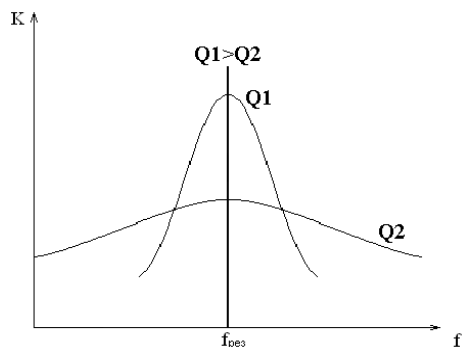


Рис. 2. АЧХ в абсолютной системе координат

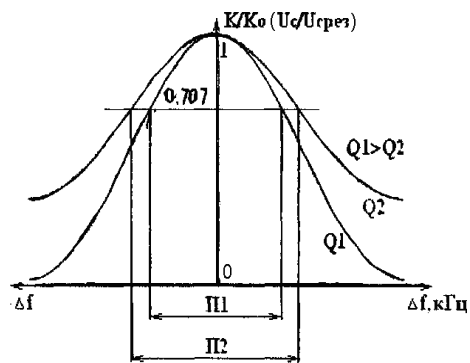


Рис. 3. АЧХ в относительной системе координат

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).

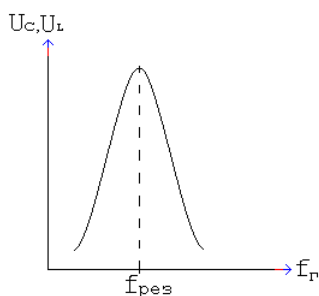


Рис. 4

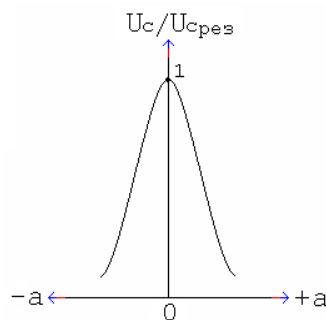


Рис. 5

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

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

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 6).

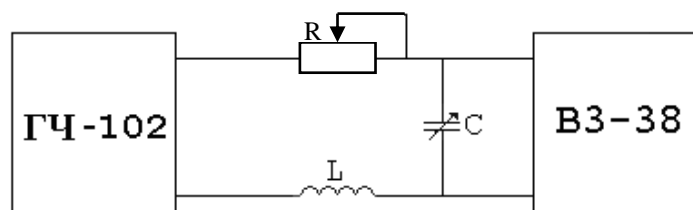


Рис. 6

- 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 _г , кГц	U _с , 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 _с /U _{с 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.

6.2 Цель работы.

6.3 Приборы, используемые при измерениях.

6.4 Схема измерений.

6.5 Результаты измерений (таблицы).

6.6 Резонансные кривые в относительном и абсолютном масштабе.

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

6.8 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 вопросы

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 № 1 «Исследование последовательного контура»	Зачет

1. Цель занятия

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

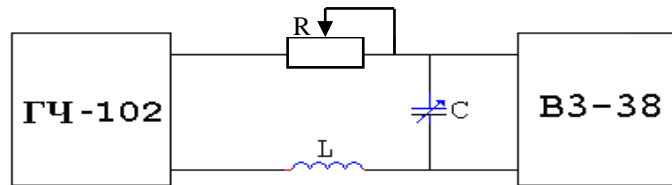
2. Перечень приборов и оборудования

2.1 Генератор Г4-102.

2.2 Милливольтметр В3-38.

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 $C = C_{\max}$

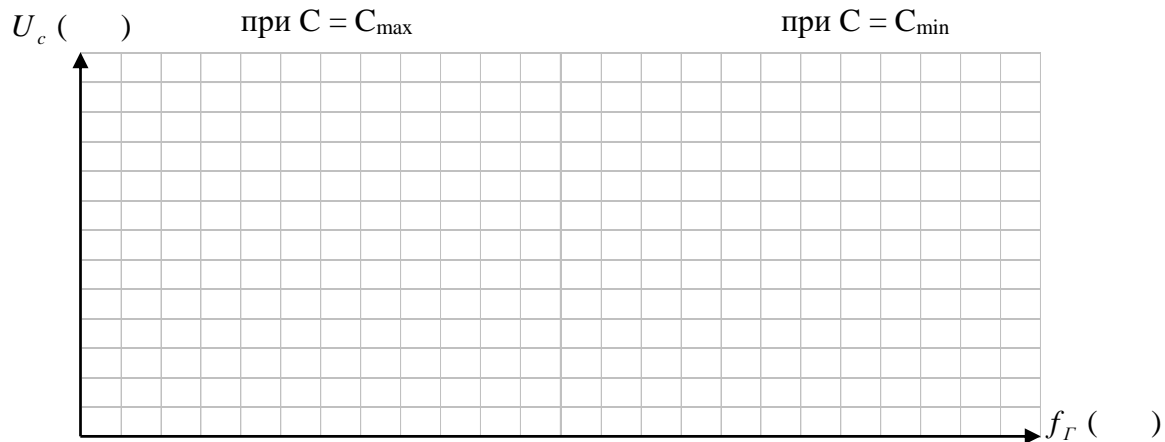
Таблица 2

Резонансные кривые при $C = C_{\max}$

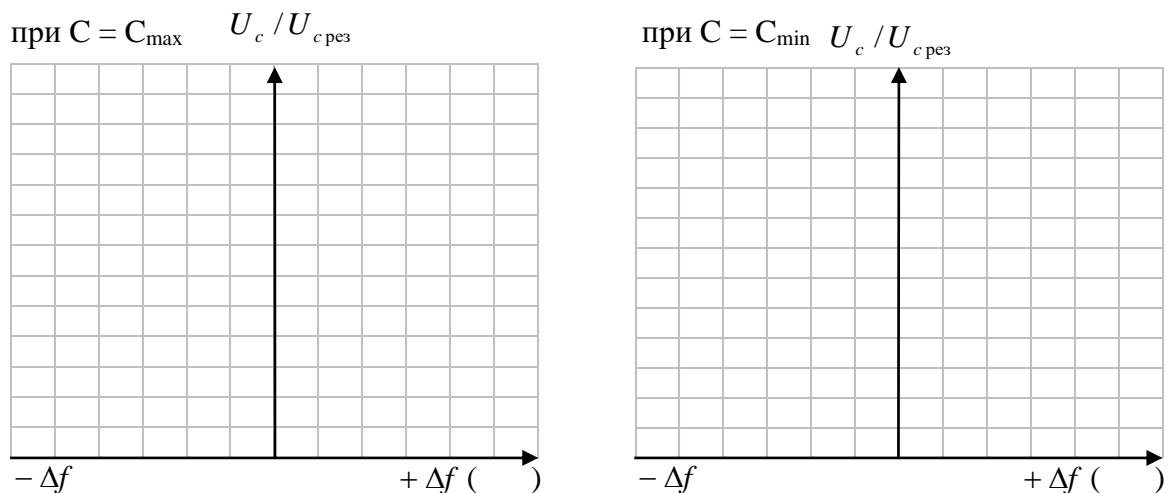
f_r , кГц																			
Δf , кГц																			
U_c , В	R_{\min}																		
	R_{\max}																		
$U_c/U_{c \text{ рез}}$	R_{\min}																		
	R_{\max}																		

5. Резонансные кривые

5.1 Резонансные кривые в абсолютной системе координат.



5.2 Резонансные кривые в относительной системе координат.



6. Результаты вычислений

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

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

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

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

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

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

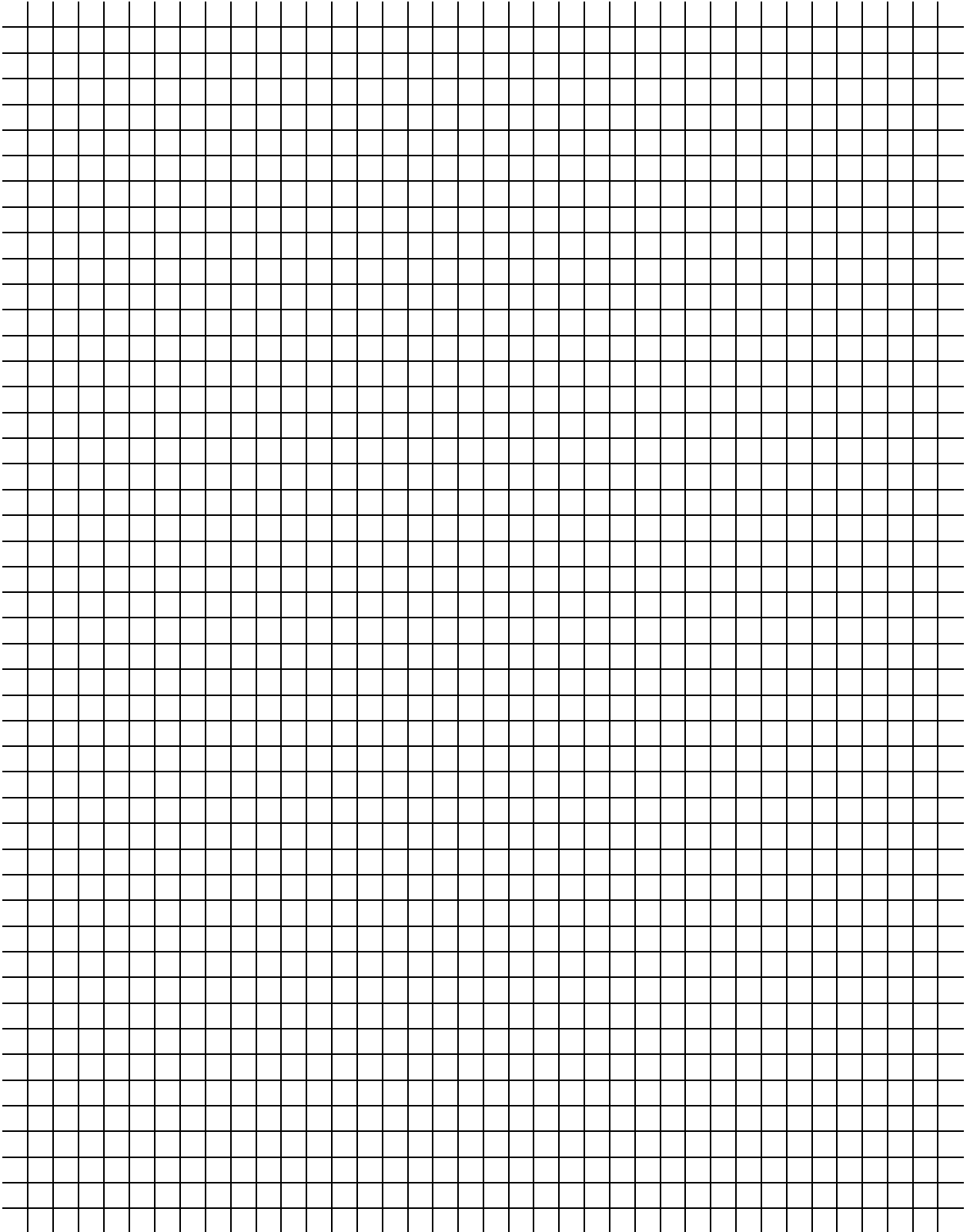
$C = C_{\max}$ $R = R_{\max}$

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

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 № 2

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:

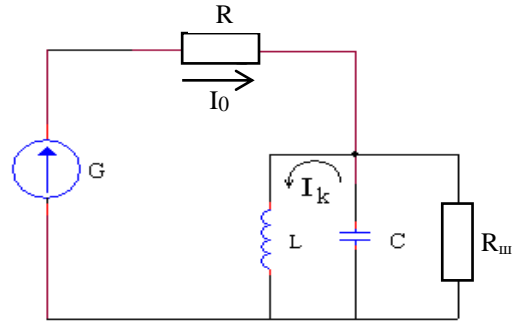


Рис. 1

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

где Z_{ν} – 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.

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

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

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

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

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).

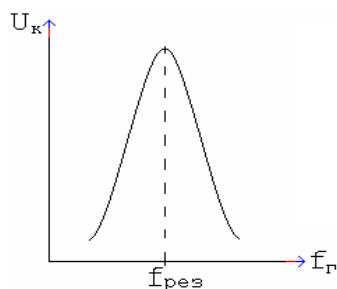


Рис. 2

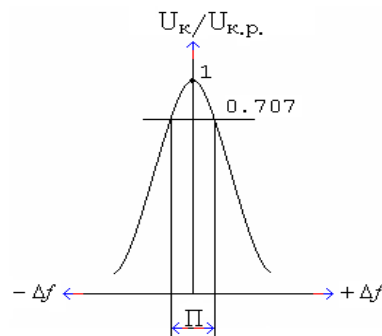


Рис. 3

Чтобы экспериментально определить добротность нагруженного контура, нужно:

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

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

где $f_{рез}$ – резонансная частота контура,

$\Pi_{эkv}$ – 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).

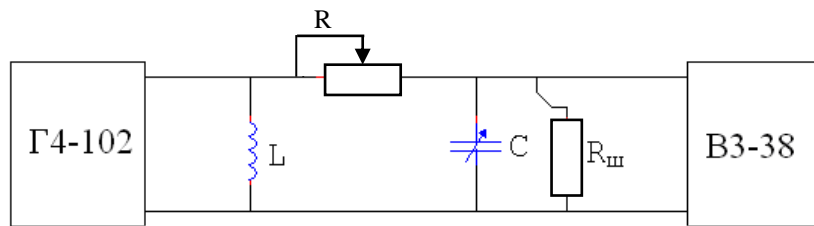


Рис. 2

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 перемычкой и снять резонансную кривую с Rш. Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Резонансные кривые в абсолютной системе координат

fг, кГц	Uк Uк 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

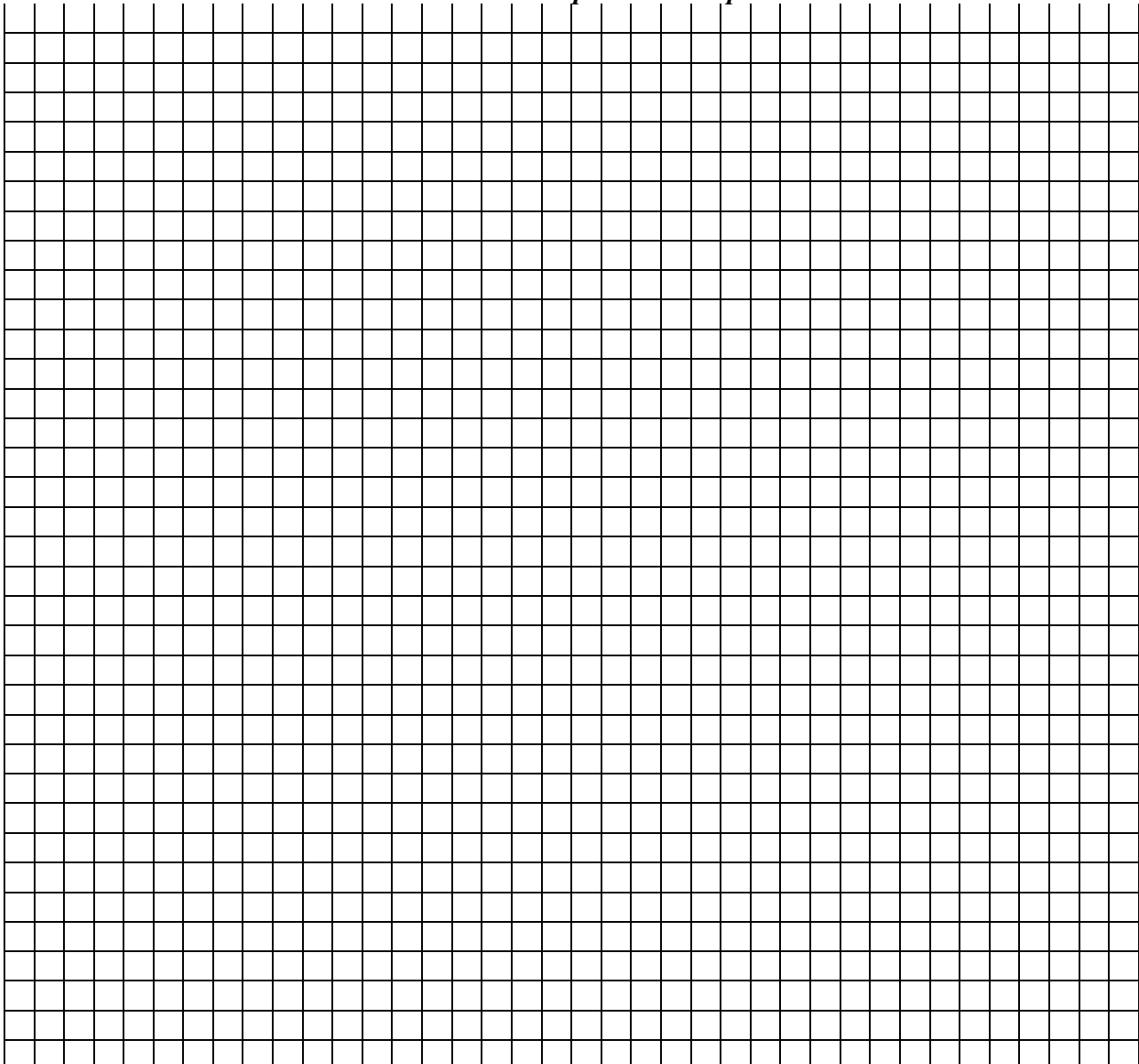
Δf, кГц	Uк/Uк.рез., В	
	без Rш	с Rш
0	1	1
+5		
+10		
.....		
.....		
-5		
-10		
.....		

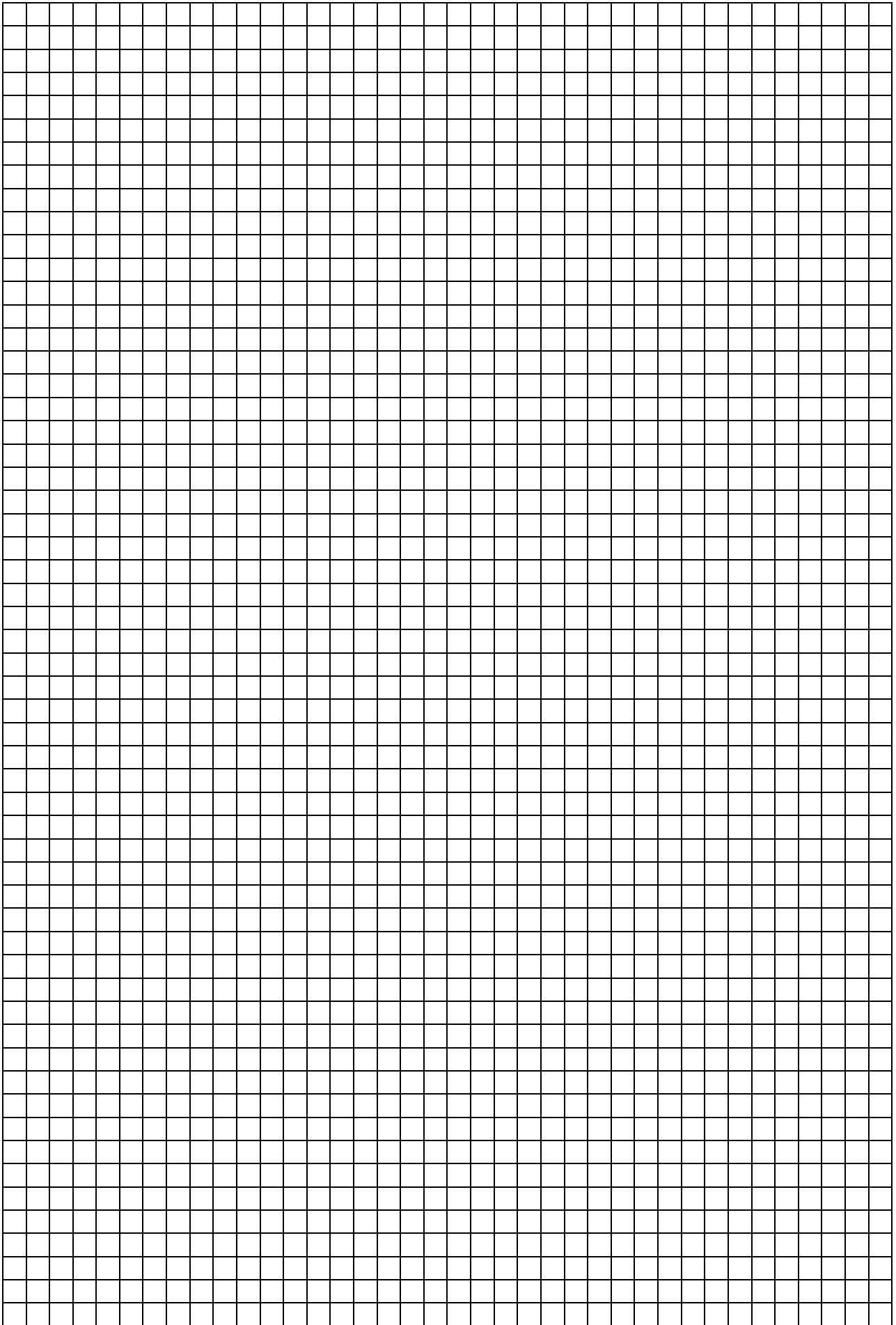
- 5.7 Построить резонансные кривые в абсолютной и относительной системе координат.
5.8 Графически определить полосу пропускания.
5.9 Рассчитать добротность, затухание и логарифмический декремент затухания параллельного контура с шунтом и без шунта.

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 (таблицы).
6.6 Резонансные кривые в относительном и абсолютном масштабе.
6.7 Результаты вычислений полосы пропускания Π , добротности Q , затухания d , логарифмического декремента затухания θ .
6.9 Выводы об избирательных свойствах параллельного контура, влиянии сопротивления шунта на форму резонансных кривых, полосу пропускания контура, напряжение на контуре.

Ответы на контрольные вопросы





Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 2 «Исследование параллельного контура»	Зачет

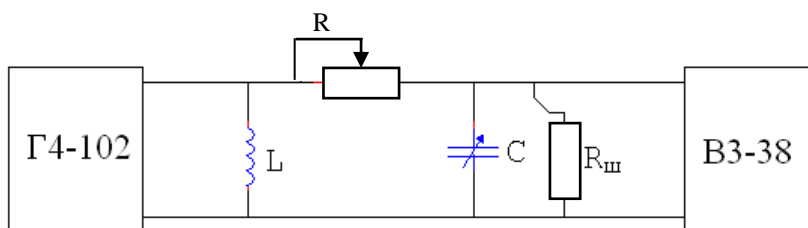
1. Цель занятия

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

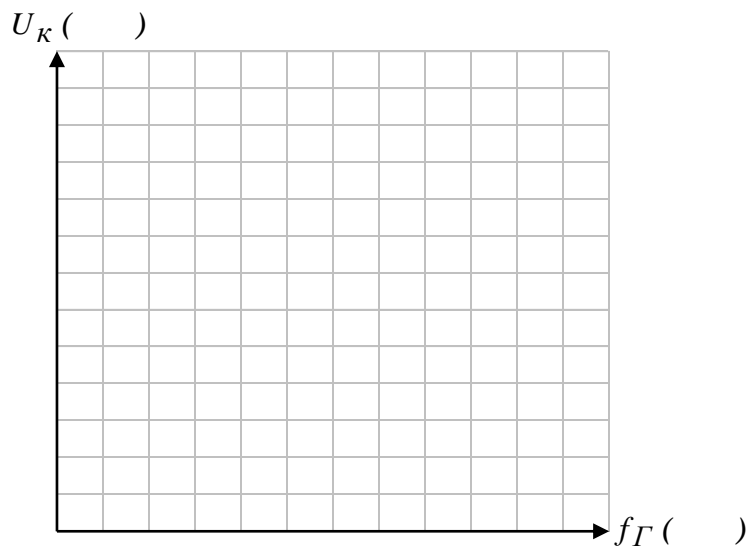
Таблица 1

Резонансные кривые контура в абсолютной и относительной системе координат

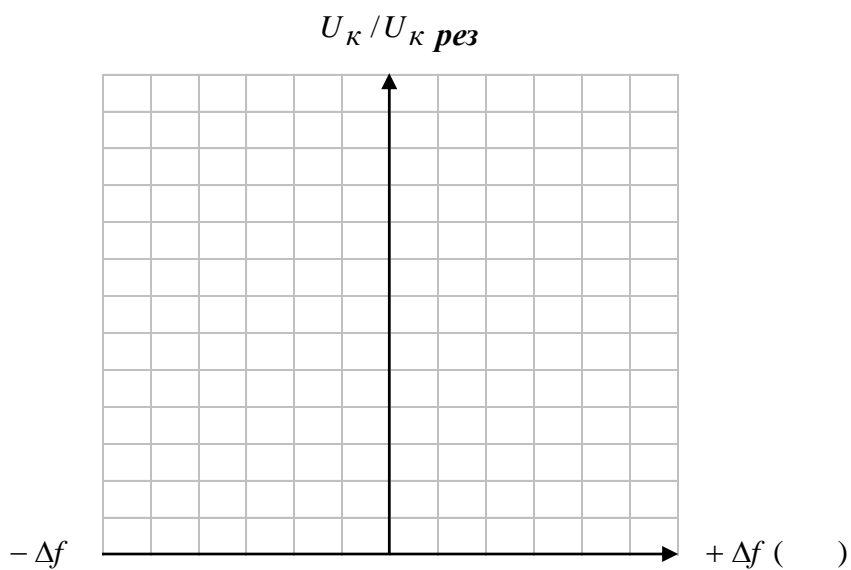
f_r , кГц																	
Δf , кГц																	
U_k , В	без $R_{ш}$																
	с $R_{ш}$																
$U_k/U_{k\text{рез}}$	без $R_{ш}$																
	с $R_{ш}$																

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_k , добротность, логарифмический декремент затухания, полосу пропускания, форму резонансных кривых и избирательность контура.

A large grid of graph paper, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares, intended for drawing or calculations.

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Способы настройки связанных контуров

1. Цель занятия

Практически изучить способы настройки связанных контуров.

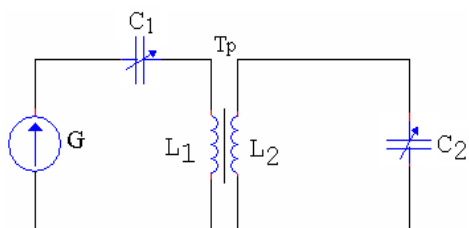


Рис. 1.

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.

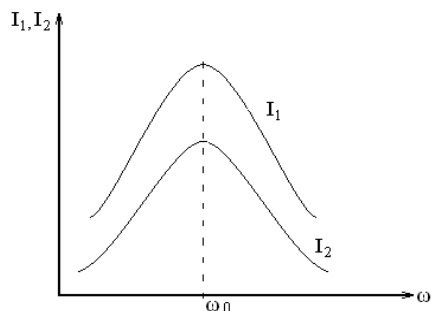


Рис. 2

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 I_2 прямо пропорциональны току I контура, то ток I_2 будет тоже максимален. Резонансные кривые I и II контуров при I частном резонансе изображены на 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 I_2 – максимальным. Увеличение тока I_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 изображены на рис. 3.

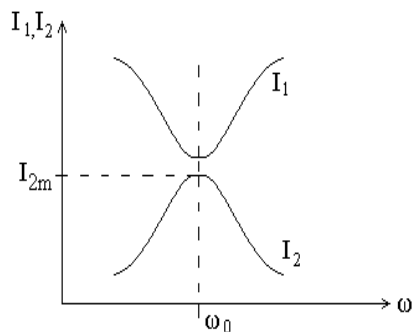


Рис. 3

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.

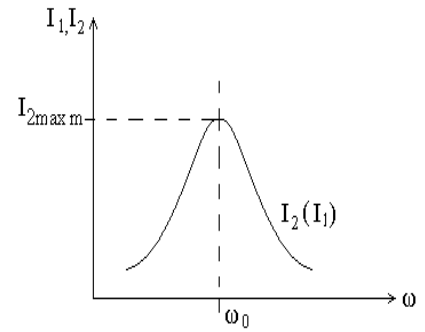


Рис. 4

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 устанавливаются один из частных резонансов, а затем устанавливается 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.

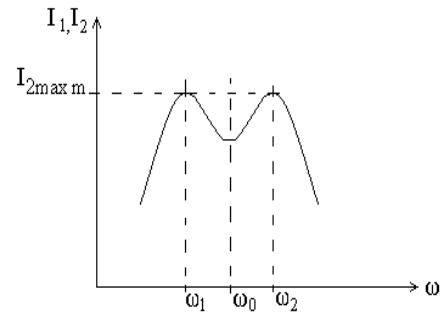


Рис. 5

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

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 $\Delta X_{вн}$.

$$[X_1] = [\Delta X_{вн}].$$

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).

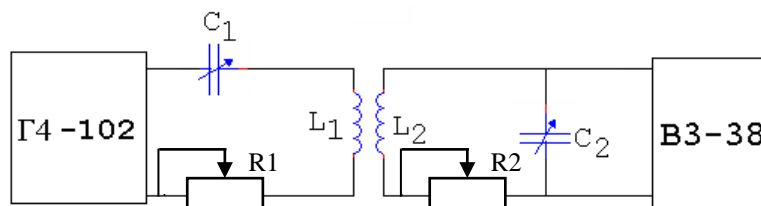


Рис. 6

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 – Π 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 Π контур в резонанс по максимуму напряжения на конденсаторе Π 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 Π контура U_{C_2} .

5.4.4 Изменяя величину емкости конденсатора C_2 , настроить Π контур в резонанс по максимуму напряжения U_{C_2} .

5.4.5 Усилить связь между контурами до получения максимально возможного напряжения на конденсаторе Π 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 Π контур в резонанс по максимуму напряжения на конденсаторе Π контура.

5.5.4 Усилить связь между контурами до получения напряжения на конденсаторе Π контура U_{C_2} равного $0,7 U_{C_{2\max}}$ 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 Π 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.

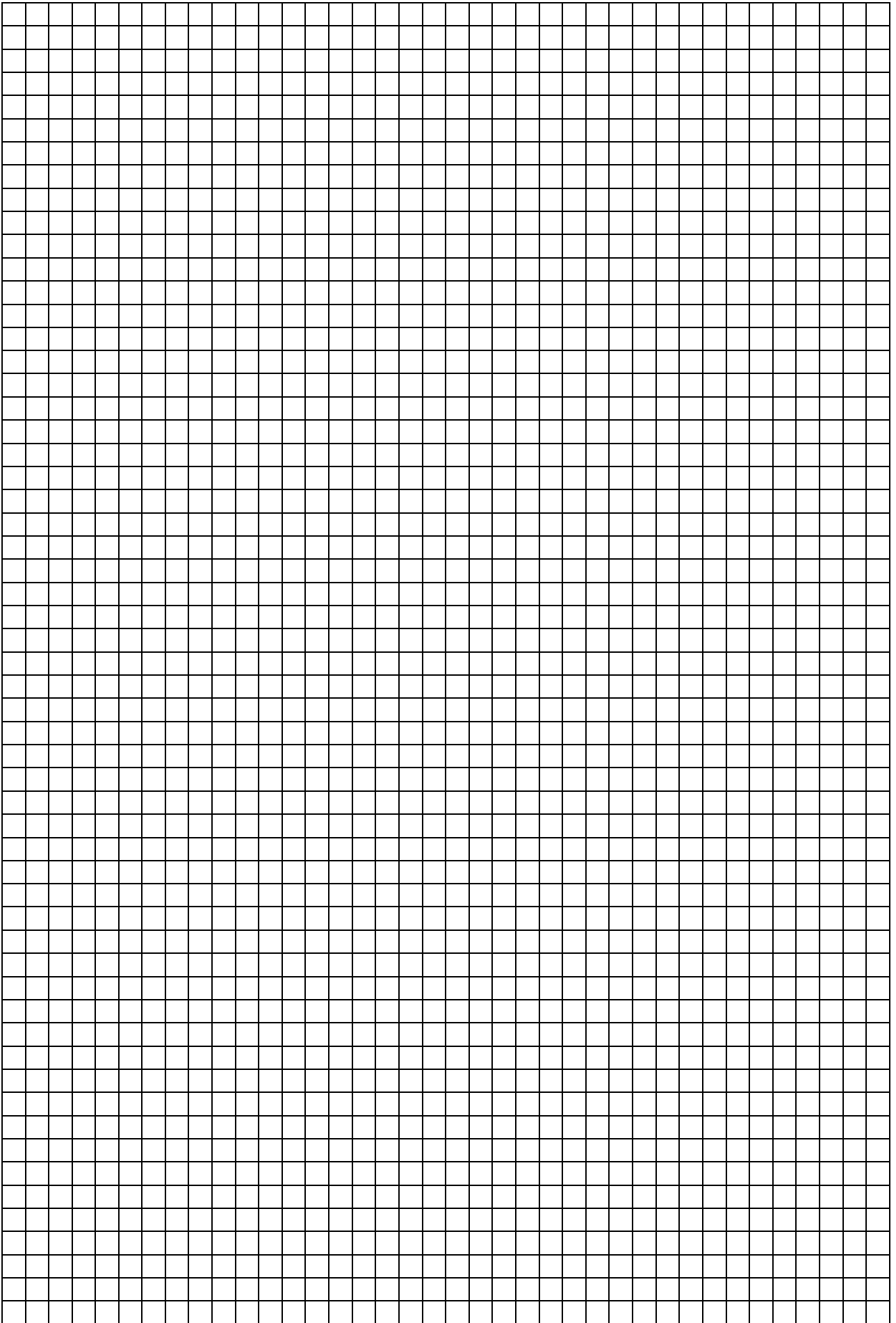
6.5 Результаты измерений (табл. 1-4).

6.6 Резонансные кривые Π 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 20 columns and 30 rows of small squares, intended for writing answers to control questions.



ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

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).

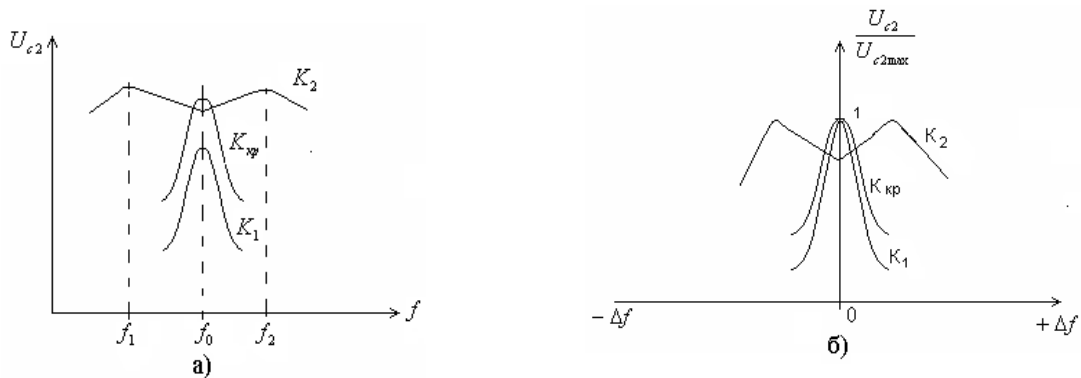


Рис. 1

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 $[X_1] = [\Delta X_{вн}]$, 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.

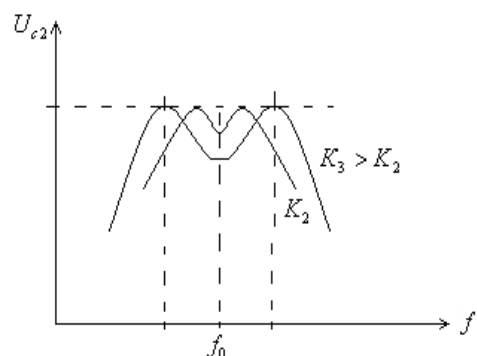


Рис. 2

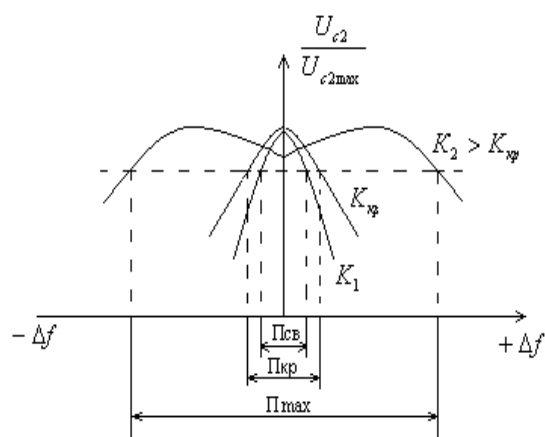


Рис. 3

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

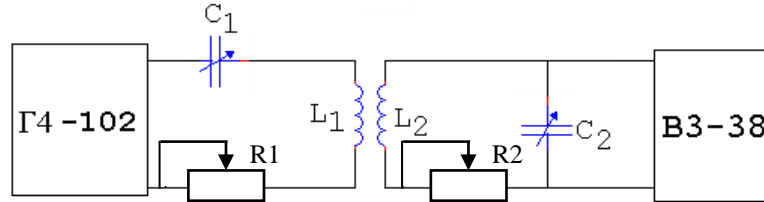


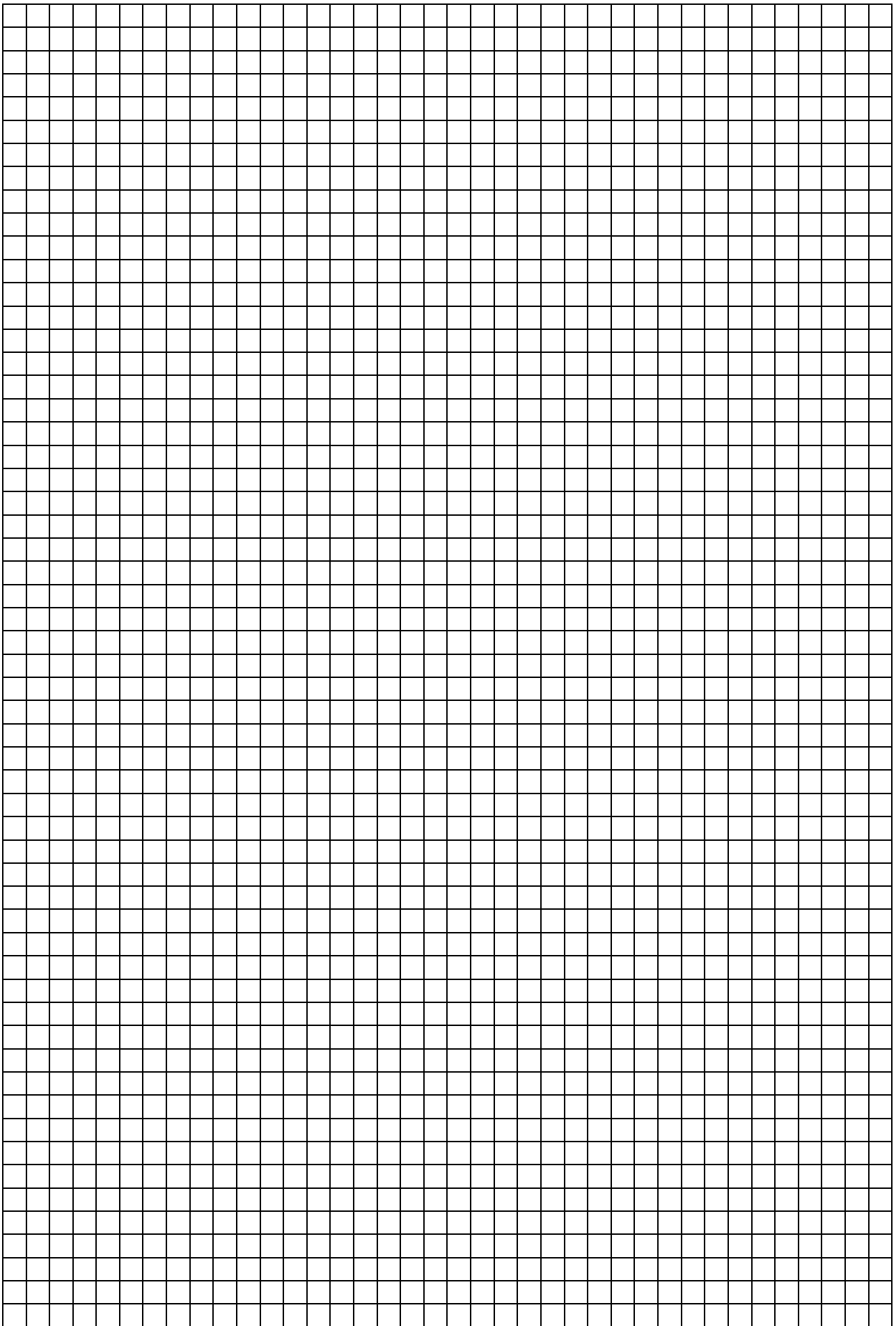
Рис. 4

- 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 _{c2} , 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}



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 3, 4 «Способы настройки связанных контуров. Исследование влияния коэффициента связи на форму резонансных кривых связанных контуров»	Зачет

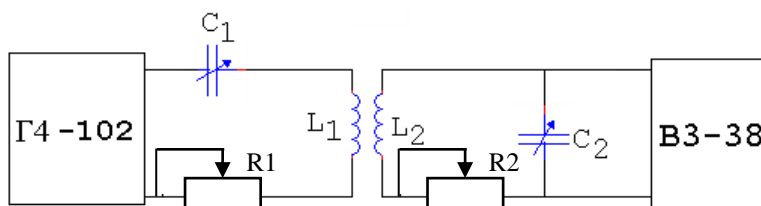
1. Цель занятия

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



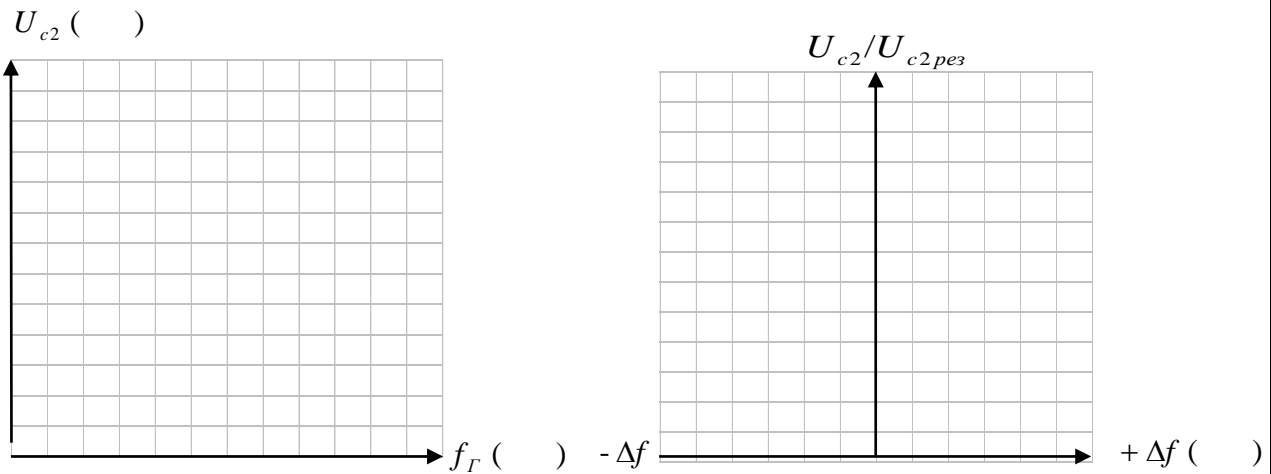
4. Результаты измерений

Таблица 1

Резонансные кривые в абсолютной и относительной системе координат

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

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 $K_{кр}$

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

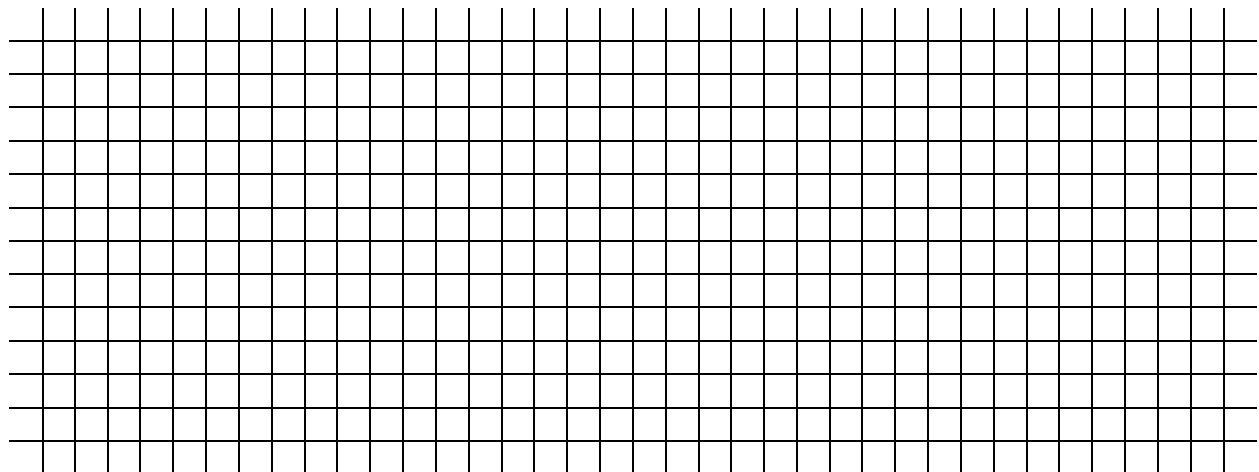
6.3 При $K_{св} > K_{кр}$

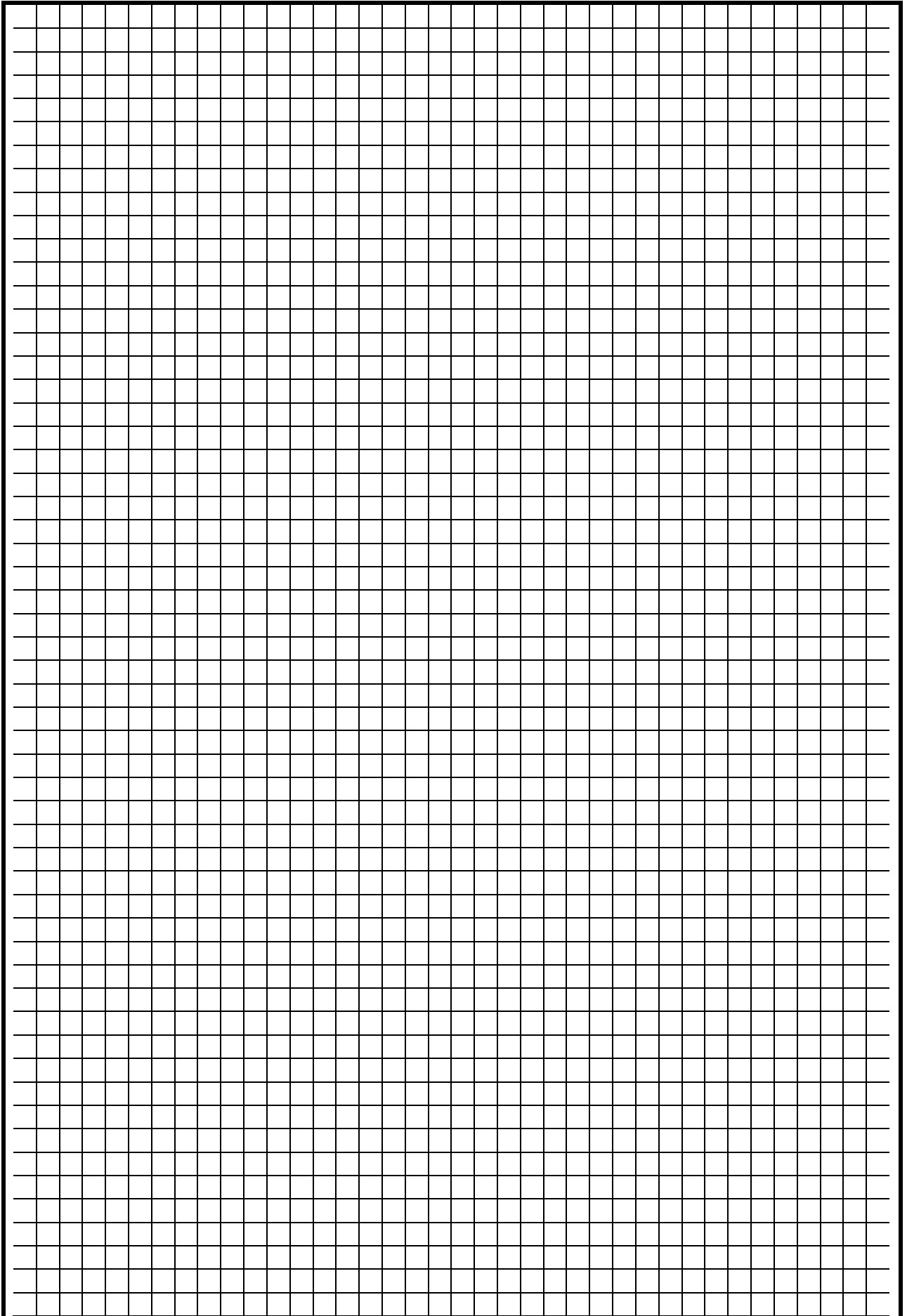
$$f_{рез} = \quad \Pi = \quad Q = \frac{f_{рез}}{\Pi} = \quad \theta = \frac{\pi}{Q} = \pi d = \quad d = \frac{1}{Q} =$$

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 № 5

Исследование фильтров нижних и верхних частот

1. Цель занятия

Исследовать частотные свойства фильтров нижних и верхних частот 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 прозрачности (пропускания), вторая – полосой задерживания (заграждения). Частота, разделяющая эти области, называется частотой среза $f_{ср}$.

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

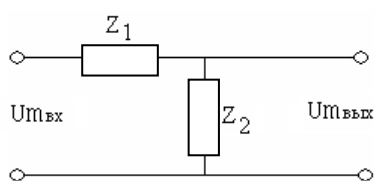


Рис. 1

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 $U_{мвх}$ к выходу $U_{мвых}$ фильтра:

$$\alpha \text{ (дБ)} = 20 \lg (U_{мвх}/U_{мвых}).$$

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 прозрачности которого лежит в пределах от $f = 0$ до $f_{ср}$, а полоса задерживания – в остальной области частот. Частотная характеристика ФНЧ изображена на рис. 2.

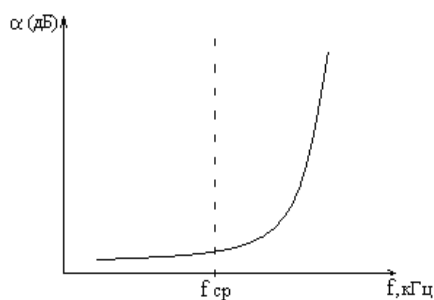


Рис. 2

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 $Z_1 = j\omega L$, параллельная – емкостное $Z_2 = 1/j\omega C$.

На рис. 3 изображены Г-,Т-,П-образные звенья ФНЧ.

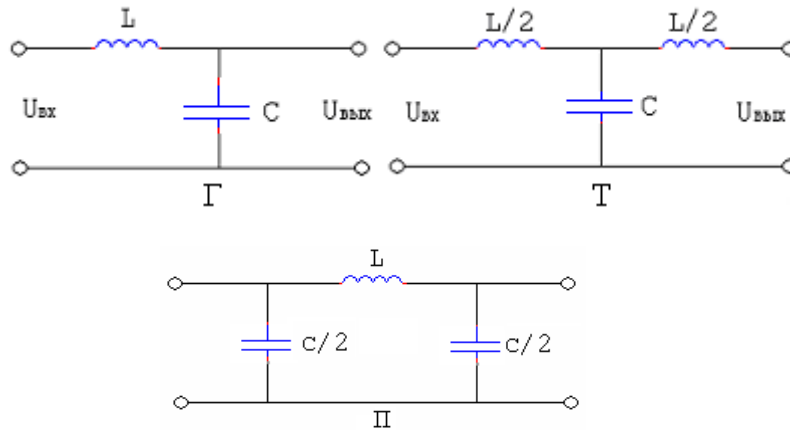


Рис. 3

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

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.

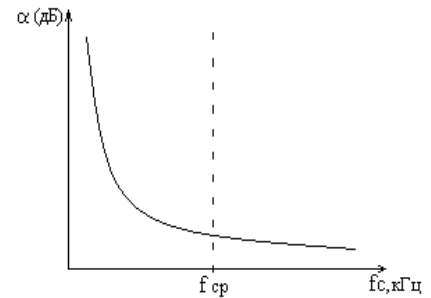


Рис. 4

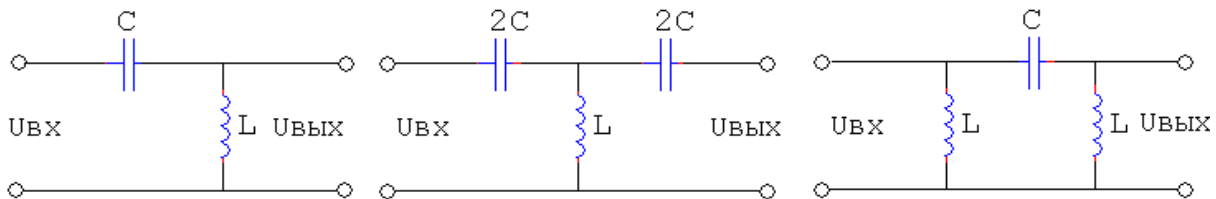


Рис. 5

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?
- 3.7 Изобразите частотную характеристику ФНЧ.
- 3.8 Дайте определение ФВЧ.
- 3.9 Изобразите частотную характеристику ФВЧ.
- 3.10 Как построить звенья ФВЧ?
- 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).

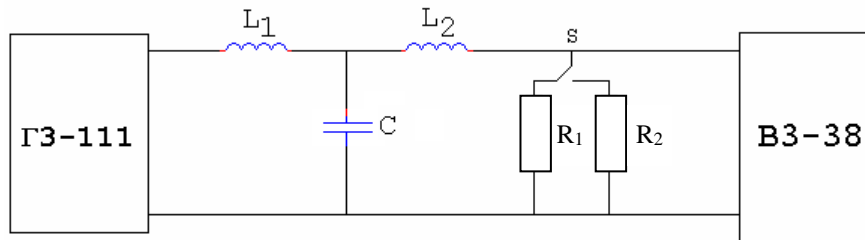


Рис. 6

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).

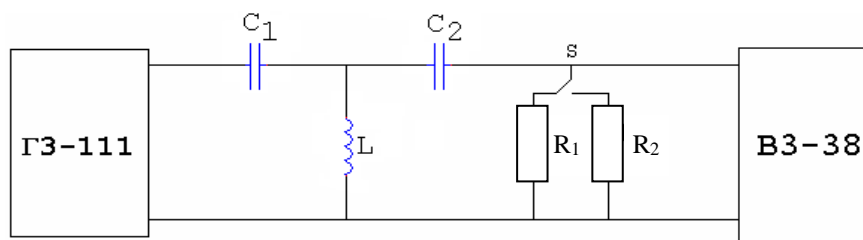
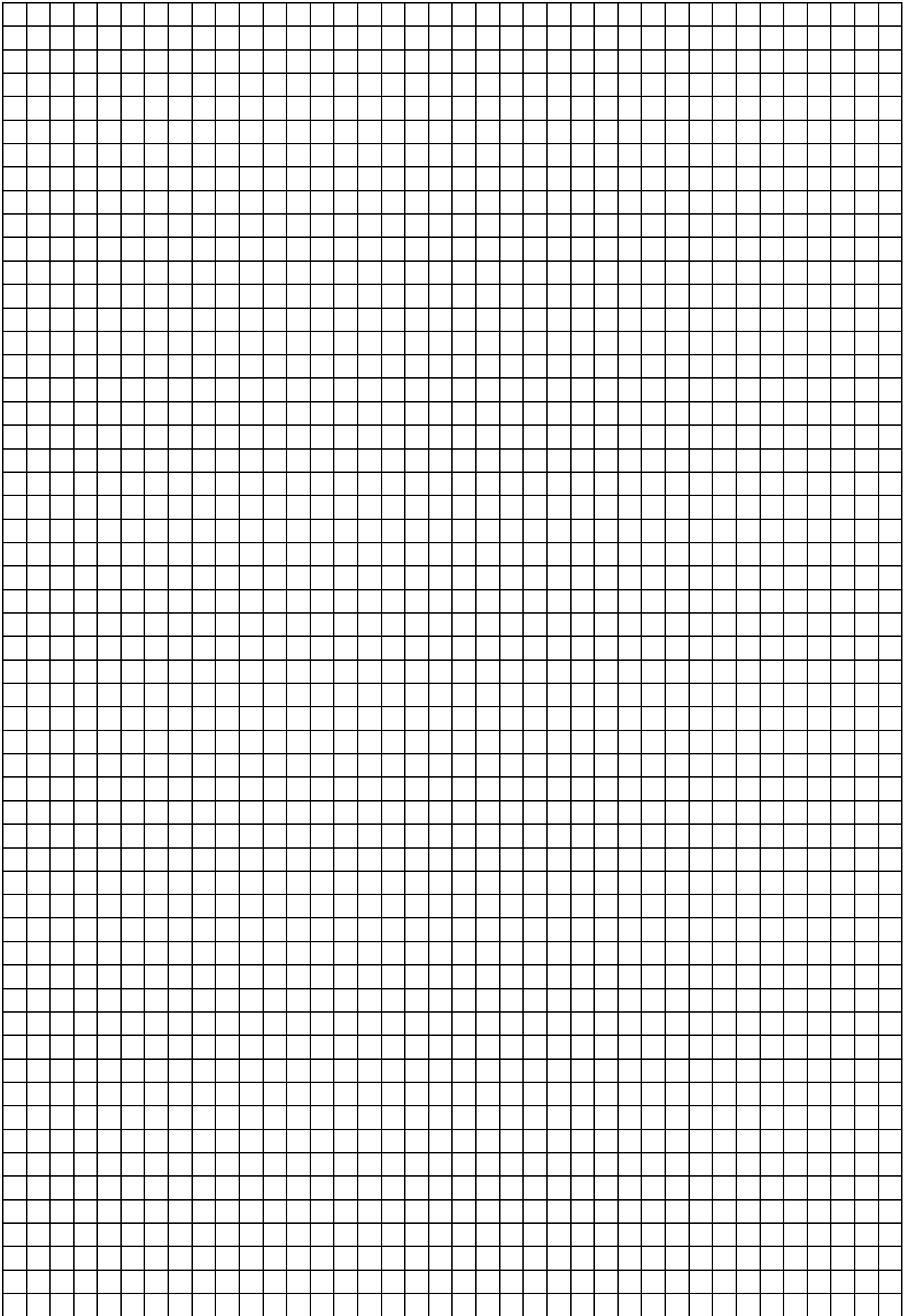


Рис. 7



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 5 «Исследование фильтров нижних и верхних частот»	Зачет

1. Цель занятия

Исследовать частотные свойства фильтров нижних и верхних частот 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

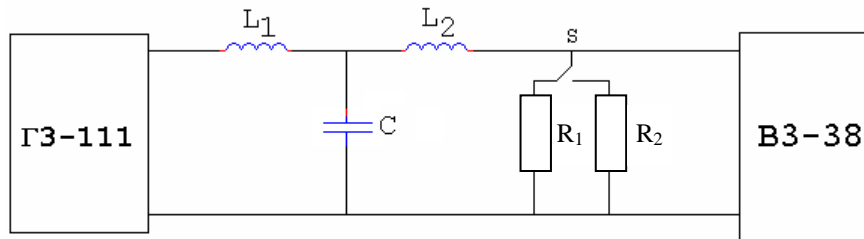


Схема измерений ЧХ ФНЧ

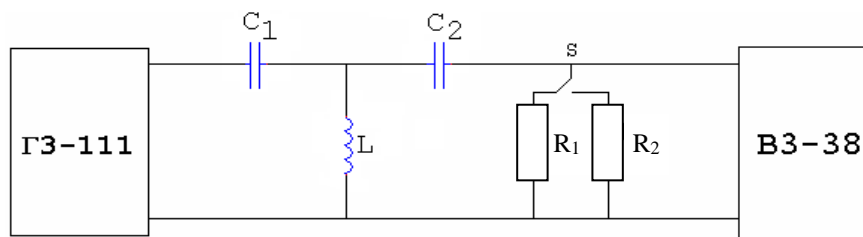


Схема измерений ЧХ ФВЧ

4. Результаты измерений

4.1 Результаты измерений ФНЧ.

Таблица 1

ЧХ ФНЧ

f_r , кГц	0,1	1	10	20	50	100	1000	2000		
$\lg f_r$										
α , дБ	$R_H = R_1$									
	$R_H = R_2$									

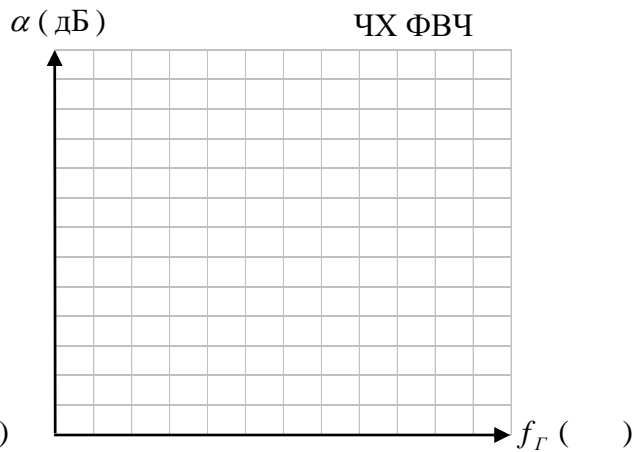
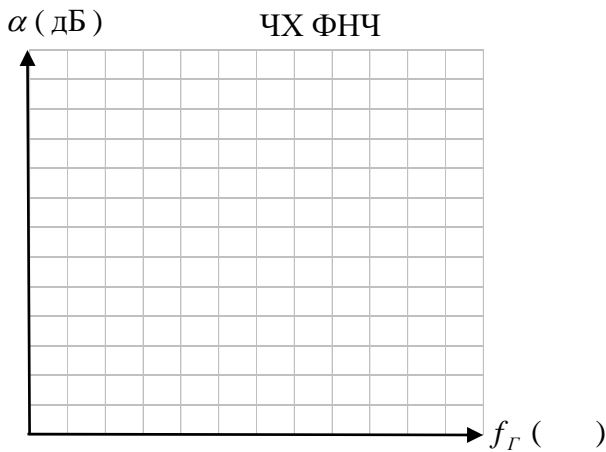
4.2 Результаты измерений ФВЧ.

Таблица 1

ЧХ ФВЧ

f_r , кГц	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100
$\lg f_r$										
α , дБ	$R_H = R_1$									
	$R_H = R_2$									

5. Частотные характеристики

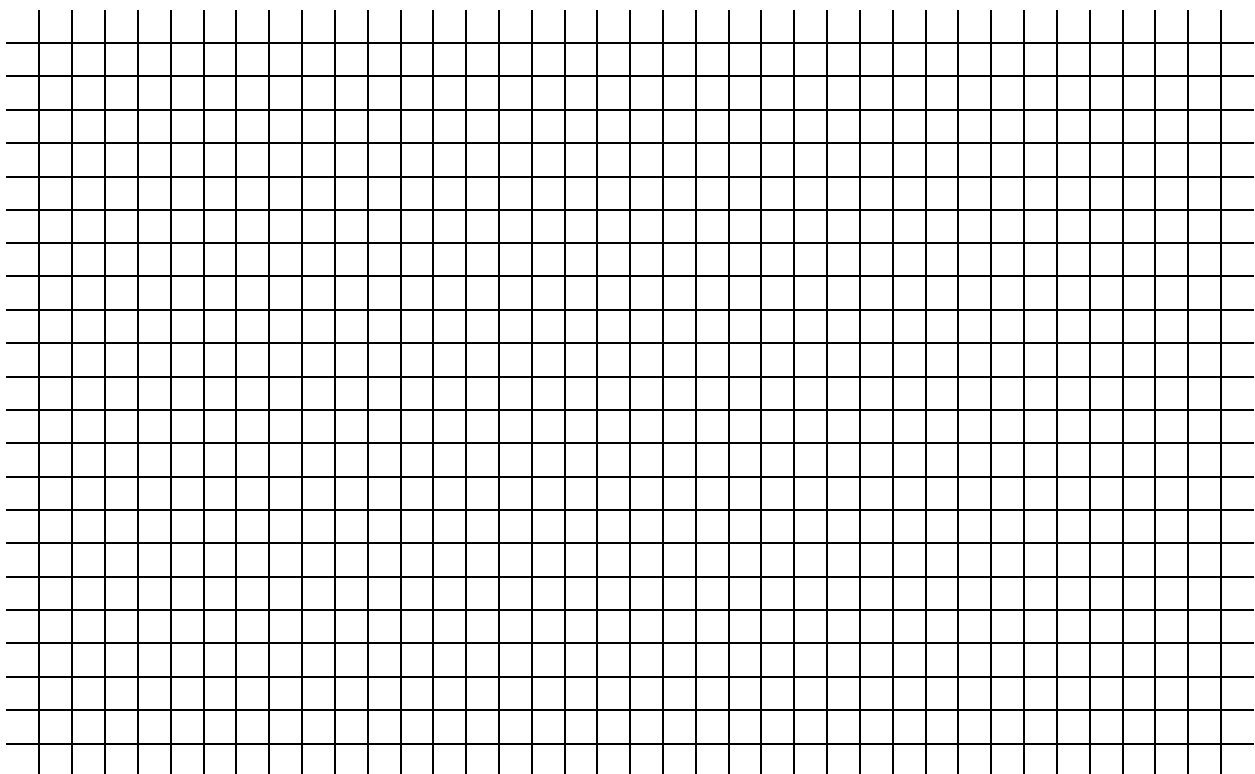


6. Выводы

6.1 Указать полосу пропускания и полосу задерживания ФНЧ и ФВЧ.

6.2 Указать частоты среза ($f_{ср}$).

6.3 Определить, с какой нагрузкой фильтр лучше согласован.



ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Исследование полосового и заграждающего фильтров

1. Цель занятия

Исследовать частотные свойства полосового и заграждающего фильтров 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 . АЧХ обратная частотной характеристике. Частотная характеристика ППФ изображена на рис. 1.

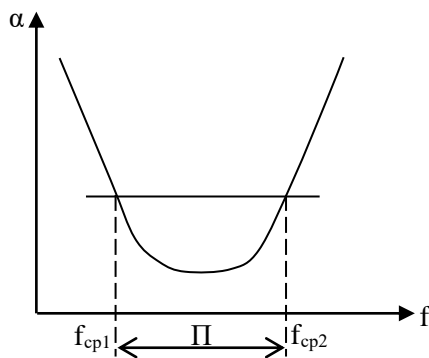


Рис. 1

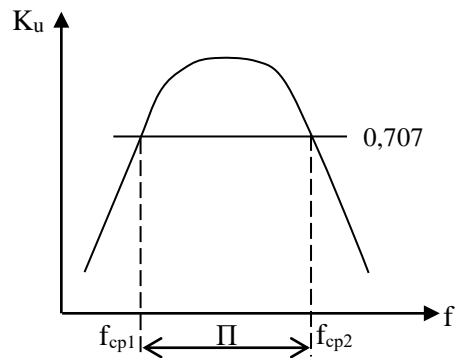


Рис. 2

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.

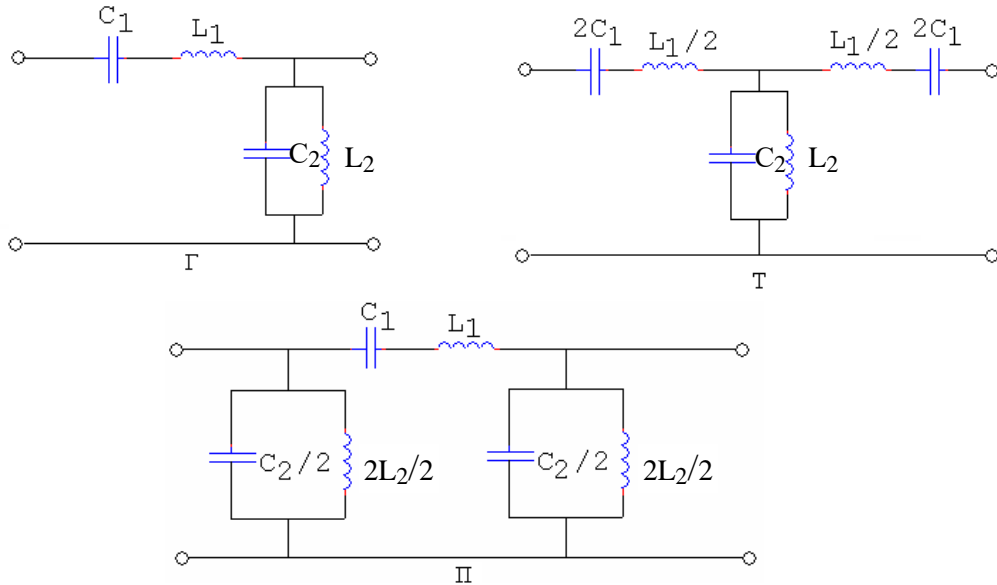


Рис. 3

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, 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.

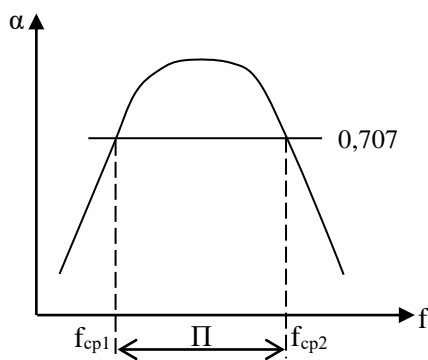


Рис. 4

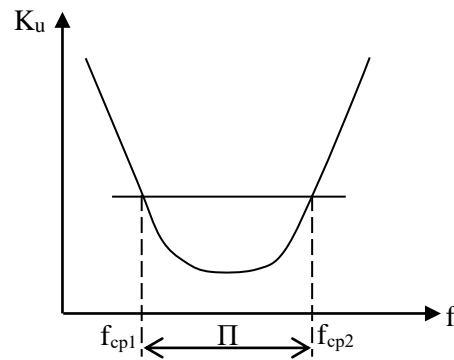


Рис. 5

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

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

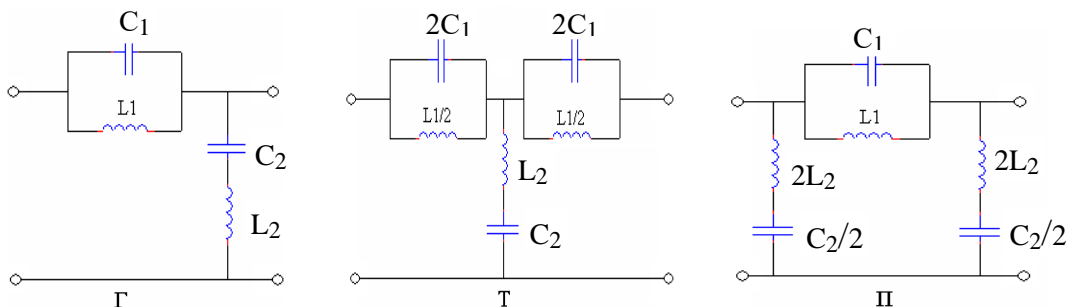


Рис. 6

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?
- 3.3 Что называется полосозаграждающим фильтром (ПЗФ)?
- 3.4 Как построить звенья ПЗФ?
- 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).

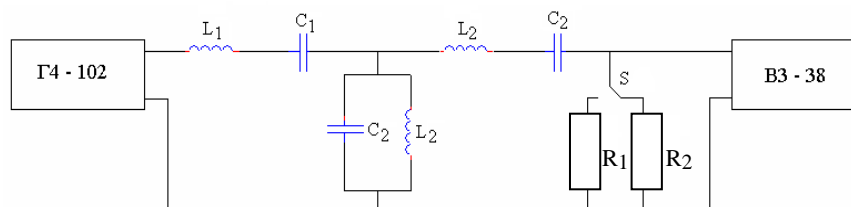


Рис. 7

- 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										

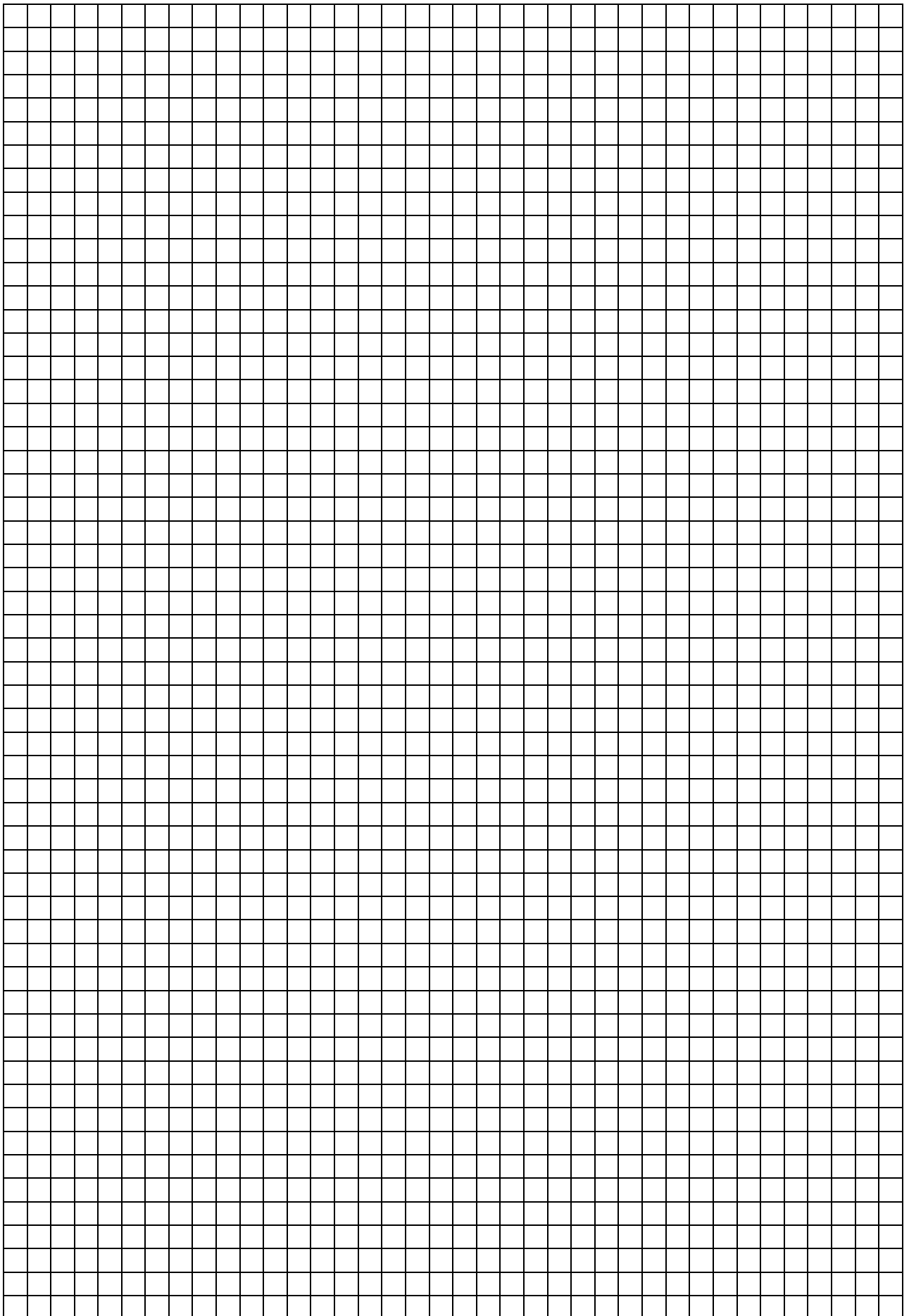
- 5.2.3 Рассчитать коэффициент передачи фильтра:

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

Результаты вычислений занести в табл. 2.

Таблица 2

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



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО	Лабораторное занятие № 6 «Исследование полосового и заграждающего фильтра»	Зачет

1. Цель занятия

Исследовать частотные свойства полосового и заграждающего фильтров 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

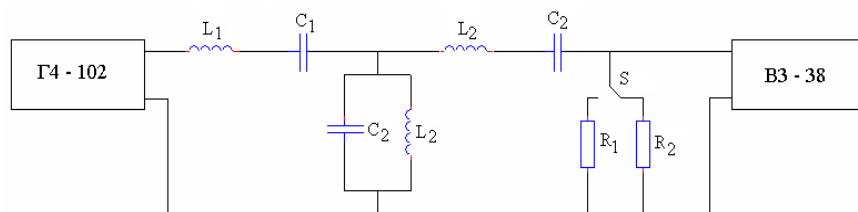


Схема измерений ППФ

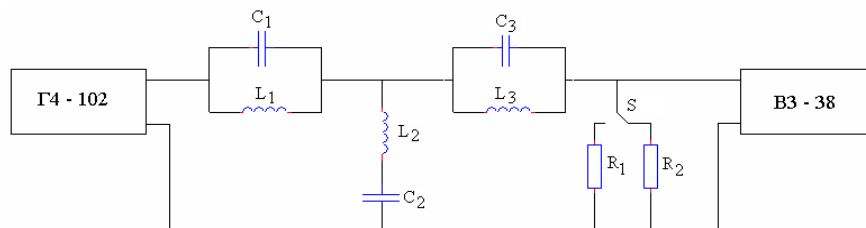


Схема измерений ПЗФ

4. Результаты измерений

4.1 Результаты измерений ППФ.

Таблица 1

Результаты измерений амплитудно-частотной характеристики ППФ

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

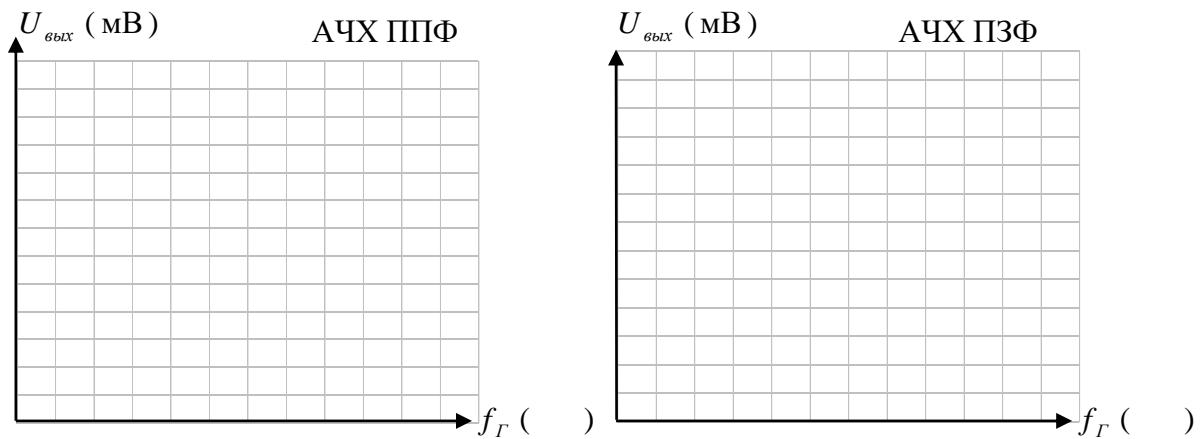
4.2 Результаты измерений ПЗФ.

Таблица 1

Результаты измерений амплитудно-частотной характеристики ПЗФ

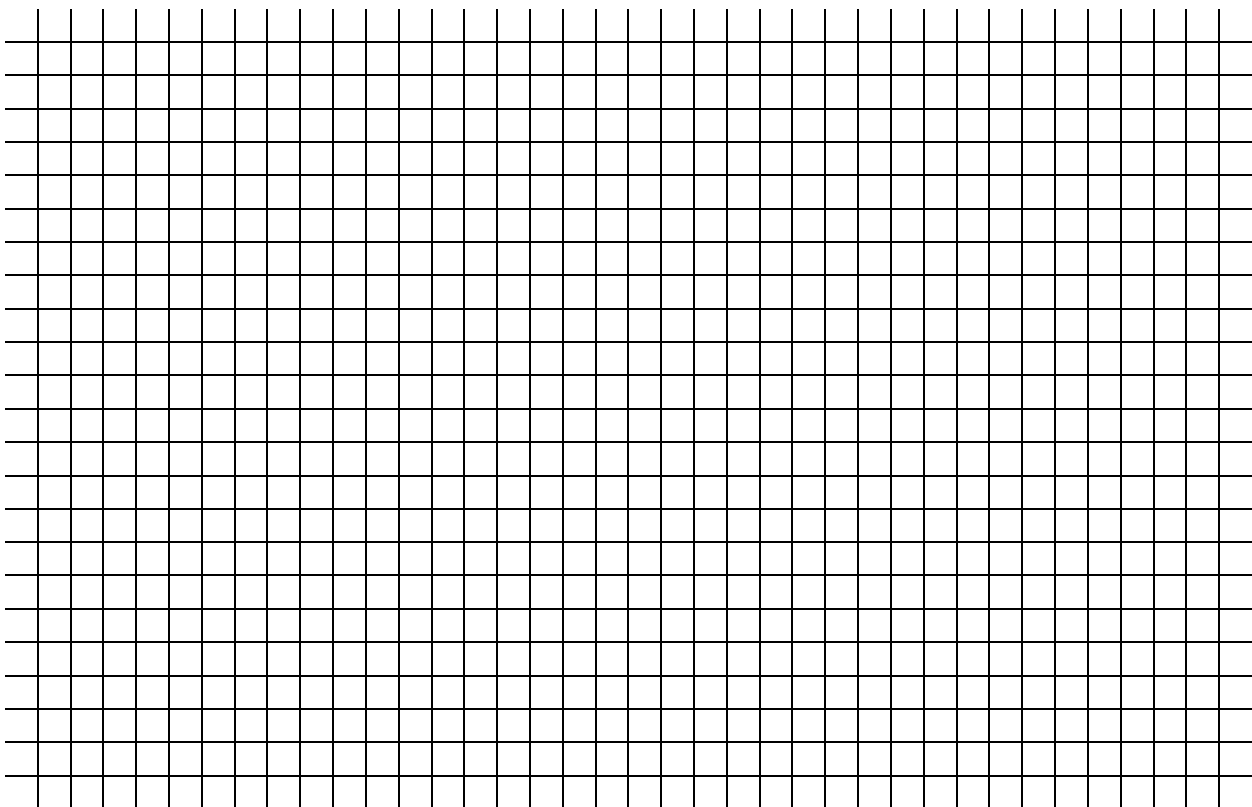
f_r , кГц		100	150	200	250	300	350	400	500	600	700
$U_{\text{вых}}$, мВ	при R_1										
	при R_2										

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.



ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ №7

«Исследование длинных линий»

1. Цель занятия

Познакомиться с методами измерения коэффициента стоячей и бегущей волны, исследовать различные режимы работы длинных линий.

2. Краткие теоретические сведения

Режим работы длинной линии зависит от соотношения сопротивления нагрузки и волнового сопротивления линии.

Режим бегущей волны возникает при условии согласования линии с нагрузкой:

$$R_l = Z_0 = R_n.$$

Однако идеально согласовать линию с нагрузкой нельзя, поэтому на практике режима бегущей волны нет, образуется режим смешанных волн.

Если линия разомкнутая, короткозамкнутая или нагружена на реактивную нагрузку, в ней образуется режим стоячих волн (рис. 1).

Коэффициент стоячей волны напряжения $K_{ст}U$ характеризует степень согласования линии и изменяется в пределах от 1 до бесконечности:

$$K_{ст}U = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}. \quad (1)$$

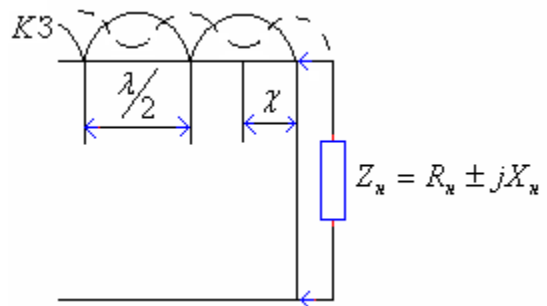


Рис. 1

Коэффициент бегущей волны (КБВ) показывает, какую долю составляет бегущая волна в смешанной:

$$\text{КБВ} = \frac{1}{K_{ст}U}. \quad (2)$$

КБВ изменяется в пределах $0 \leq \text{КБВ} \leq 1$.

Методика измерения $K_{ст}U$ с помощью измерительной линии предназначена для измерения параметров смешанных и стоячих волн в однородном коаксиальном тракте. По измеренным значениям параметров смешанных и стоячих волн в линии можно рассчитать значения $K_{ст}U$, фазу коэффициента отражения, длину волны, значение сопротивления нагрузки, малые потери четырехполюсников и другие характеристики СВЧ трактов.

Измерительная линия представляет собой отрезок воздушной коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом, состоящей из коаксиального канала с соединителями, каретки с индикаторной головкой, станины с направляющими и приводом для перемещения каретки вдоль линии.

С величиной волнового сопротивления линии сравнивается импеданс измеряемых нагрузок.

В измерительной линии, как правило, распространяется два типа волн: падающая и отраженная. Отраженная волна возникает в случае неравенства импеданса нагрузки волновому сопротивлению линии. В местах, где фазы падающей и отраженной волны совпадают, образуется пучность стоячей или максимум U_{\max} смешанной волны, в местах, где фазы противоположны, образуется узел стоячей или минимум U_{\min} смешанной волны.

Картина стоячей и смешанной волны анализируется с помощью зонда. Для повышения чувствительности зонд соединен с резонаторной (индикаторной) головкой. Выпрямленное детектором напряжение подается на индикаторный прибор.

Индикаторная головка представляет собой короткозамкнутую коаксиальную линию, которая возбуждается полем с помощью зонда. Настройка осуществляется перемещением короткозамыкающего плунжера с помощью ручки. При перемещении зонда измерительной линии производится отсчет напряжения по индикаторному прибору.

Коэффициент стоячей волны напряжения рассчитывается по формуле:

$$K_{ст} U = \sqrt{\frac{a_{max}}{a_{min}}}, \quad (3)$$

где a_{max} , a_{min} – максимальное и минимальное показания милливольтметра в делениях шкалы.

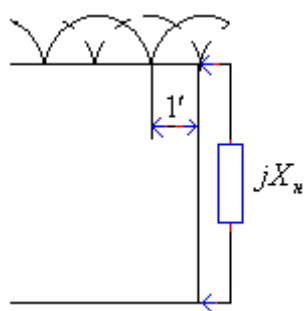


Рис. 2

При подключении к измерительной линии реактивной нагрузки происходит смещение узла стоячей волны относительно узла в режиме короткого замыкания на отрезок l' в сторону нагрузки (рис. 2).

Для определения величины и характера реактивной нагрузки надо измерить это расстояние l' и определить входное сопротивление нагрузки по формуле:

$$Z_{вх} = jZ_0 \operatorname{tg} \beta l'. \quad (4)$$

3. Контрольные вопросы

- 3.1 От чего зависит режим работы линии?
- 3.2 В каких случаях в линии возникают бегущие, смешанные, стоячие волны?
- 3.3 Что такое коэффициент отражения?
- 3.4 Объясните, как зависит коэффициент отражения от импеданса нагрузки.
- 3.5 Дайте определение КБВ.
- 3.6 Какова величина КБВ в режиме бегущих, стоячих, смешанных волн?
- 3.7 Что характеризует $K_{ст}U$? В каких пределах он изменяется?
- 3.8 Приведите формулы для расчета $K_{ст}U$ и КБВ.
- 3.9 Объясните методику измерения $K_{ст}U$ и КБВ с помощью измерительной линии.
- 3.10 Объясните, как зависит входное сопротивление линии от величины импеданса нагрузки и длины линии.
- 3.11 Объясните необходимость и способы согласования длинных линий.

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор стандартных сигналов ГЧ-79,80,81.
- 4.2 Измерительная линия ПИ-36.
- 4.3 Милливольтметр ВЗ-38.

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 3).

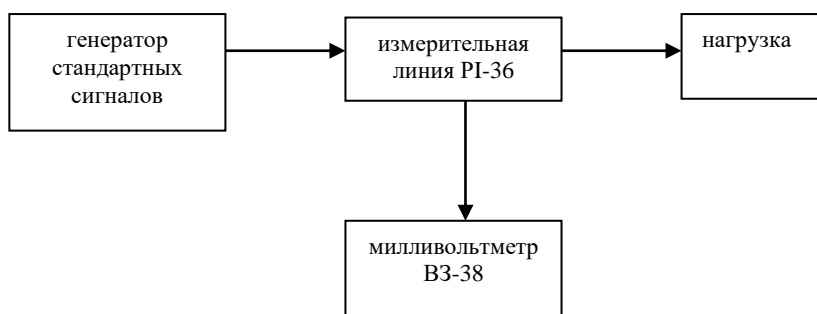


Рис. 3

Переключатель генератора «Род работ» установить в положение «НГ». Высокочастотный кабель подсоединить к калиброванному выходу генератора и измерительной линии.

5.2 Подготовить генератор к работе, для чего тумблер генератора «СЕТЬ» перевести в верхнее положение. При этом должна загореться индикаторная лампочка. Дать генератору прогреться не менее 10 мин.

5.3 Подсоединить короткозамыкатель к измерительной линии.

5.4 Настроить индикаторную головку на заданную частоту (по максимальным показаниям индикаторного прибора ВЗ-38 на шкале 10 мВ. При зашкаливании прибора уменьшить $P_{\text{вых}}$ генератора).

5.5 В режиме короткого замыкания измерить амплитуду напряжения вдоль длинной линии (в делениях шкалы милливольтметра).

5.6 Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Режим стоячих волн

l, см							
α , дел							

5.7 Измерить амплитуду напряжения вдоль длинной линии в режиме смешанных волн, для чего подключить рассогласованную нагрузку с переменной фазой (№ 3 или № 4) и, перемещая индикаторную головку вдоль линии через 1 см, снять показания милливольтметра.

Примечание: при измерениях не пропустить узел стоячей волны, минимум и максимум смешанной волны и записать их значения в таблицу.

5.8 Результаты измерений занести в табл. 2.

Таблица 2

Режим смешанных волн

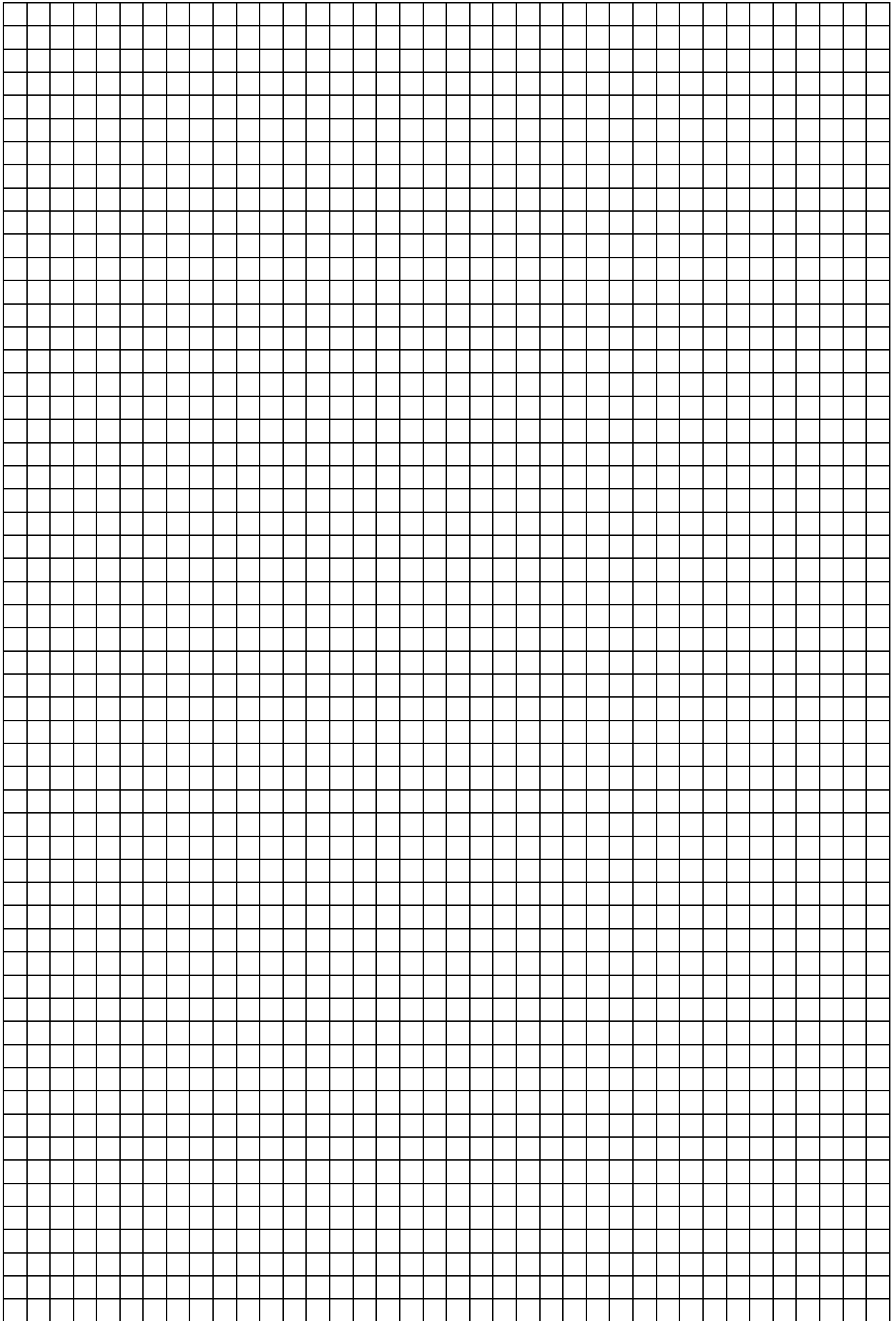
	L, см	0	1	2
I полож. Нагр.	α , дел				
II полож. Нагр.	α , дел				

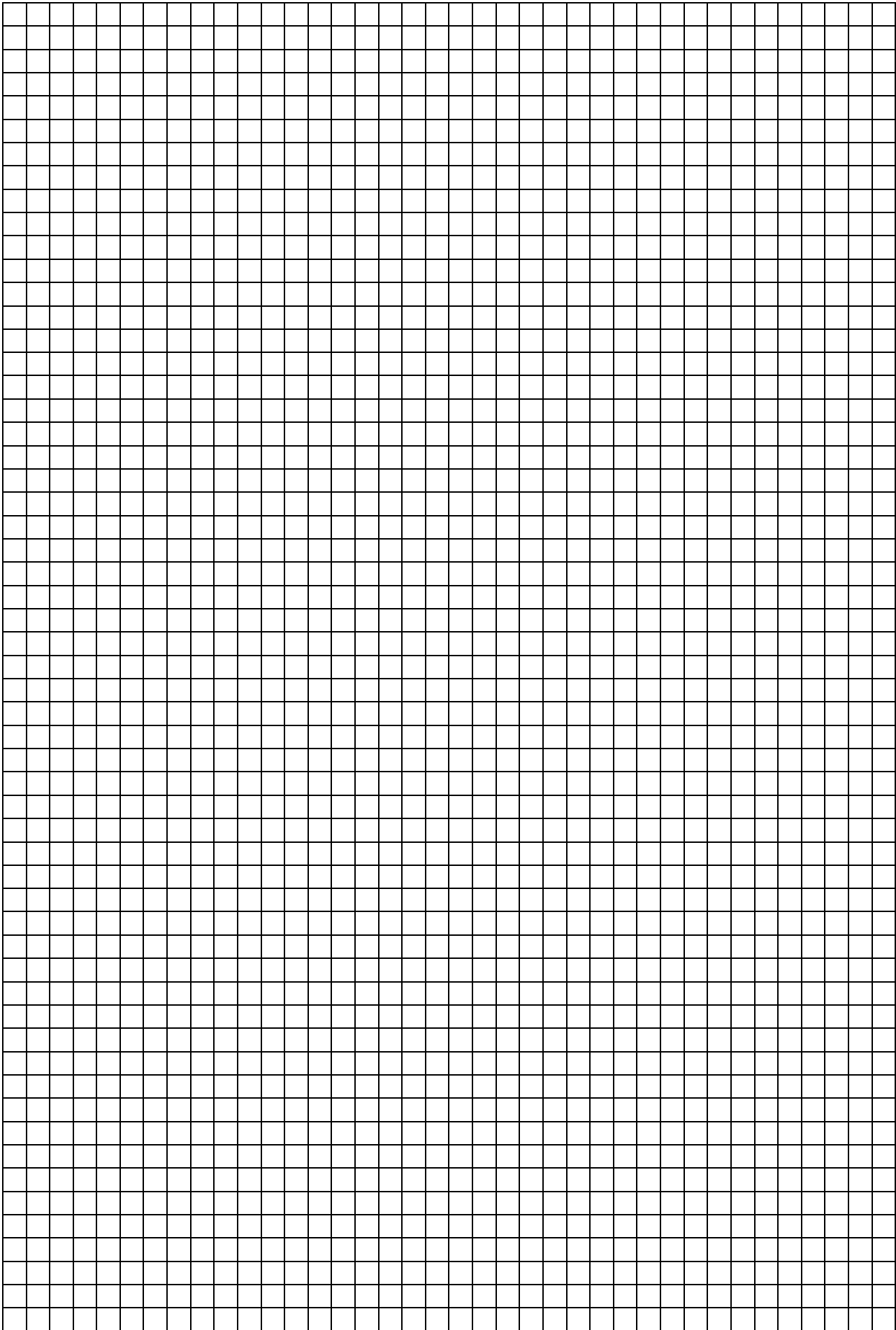
5.9 Построить эпюры напряжения по данным табл. 1 и 2.

5.10 Графически определить длину волны в линии.

5.11 Рассчитать КСВ и КБВ.

5.12 Исследовать режим стоячих волн при реактивной нагрузке, роль которой выполняет короткозамкнутая нагрузка (№ 1 или № 2) с переменной фазой.





Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 7 «Исследование длинных линий»	Зачет

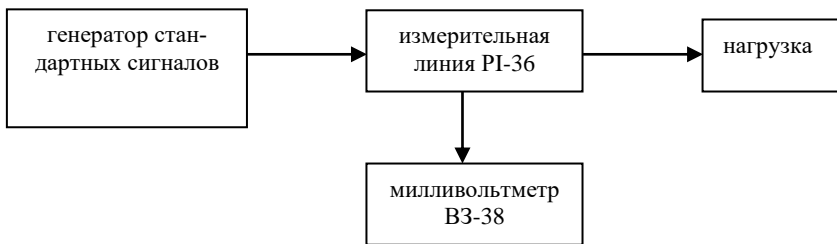
1. Цель занятия

Познакомиться с методами измерения коэффициента стоячей и бегущей волны, исследовать различные режимы работы длинных линий.

2. Перечень приборов и оборудования

- 2.1 Генератор стандартных сигналов Г4-79, 80, 81.
- 2.2 Милливольтметр ВЗ-38.
- 2.3 Измерительная линия Р1-36.

3. Структурная схема измерений



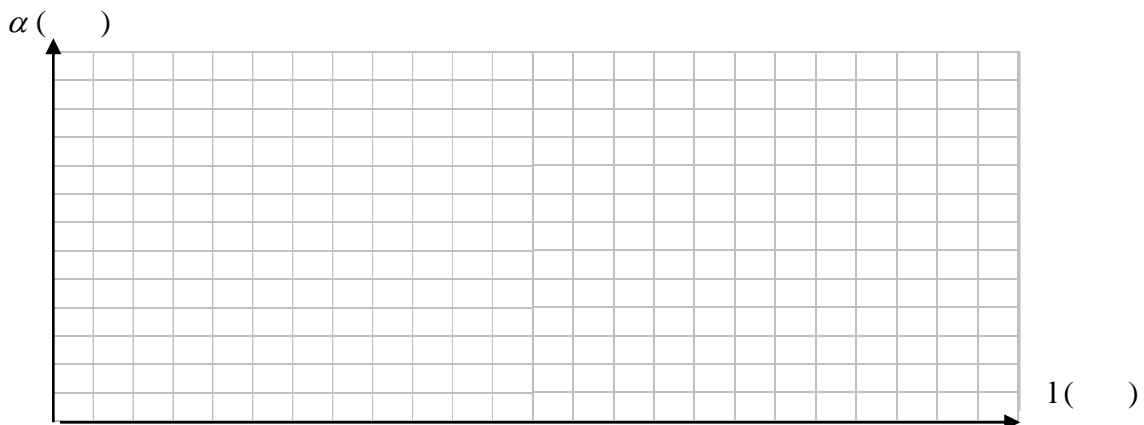
4. Результаты измерений

Таблица 1

Результаты измерений эюры напряжений

$Z_{н}=0$	L, см										
	α , дел										
$R_{н}=Z_{в}$	L, см										
	α , дел										

5. Эюры напряжений



6. Результаты вычислений

6.1 Рассчитаем длину волны в линии графически:

$$\lambda_{\text{граф}} =$$

6.2 Рассчитаем длину волны генератора:

$$f_2 =$$

$$\lambda_{\text{теор}} = \frac{c}{f_2} =$$

6.3 Рассчитаем КБВ и КСВ при $Z_{\text{н}}=0$:

$$КБВ = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{min}}}{\alpha_{\text{max}}}} = \quad КСВ = \frac{1}{КБВ} =$$

6.4 Рассчитаем КБВ и КСВ при $R_{\text{н}}=Z_{\text{в}}$:

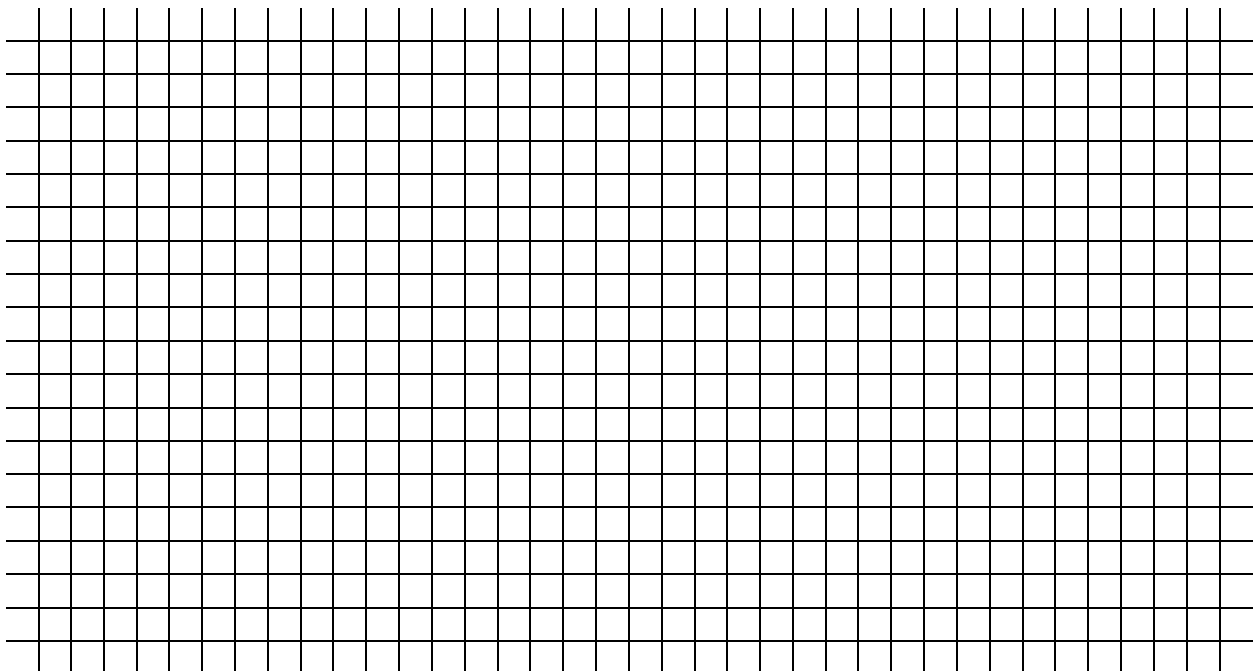
$$КБВ = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{min}}}{\alpha_{\text{max}}}} = \quad КСВ = \frac{1}{КБВ} =$$

6. Выводы

6.1 Указать, в каком режиме работают линии при $Z_{\text{н}} = 0$ и $R_{\text{н}} = Z_{\text{в}}$ теоретически и практически.

6.2 Указать способ измерения КБВ и КСВ.

6.3 Сравнить длину волны в линии с длиной волны генератора.



ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

«Исследование волноводов»

1. Цель занятия

Познакомиться с конструкцией измерительной волноводной линии, методикой измерения коэффициента стоячей волны, определить длину волны в волноводе, влияние нагрузки на режимы работы волноводной линии, рассчитать основные параметры волновода.

2. Краткие теоретические сведения

Как известно, в волноводах из-за невозможности выполнения граничных условий не распространяется волна типа Т. В прямоугольных волноводах существуют волны типа Н (ТЕ) и Е (ТМ). В волне Н (ТЕ) магнитное поле имеет продольную и поперечную составляющие, а электрическое поле – только поперечную. В волне Е (ТМ) электрическое поле соответственно имеет продольную и поперечную составляющие, а магнитное – только поперечную.

Наибольшая длина волны, при которой прекращается распространение энергии в прямоугольном волноводе, называется критической и зависит от типа волны и размеров поперечного сечения:

$$\lambda_{кр} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}, \quad (1)$$

где a, b – соответственно размеры широкой и узкой стенок.

Индекс m показывает количество стоячих полуволн на широкой стенке, n – на узкой стенке.

В волноводах наблюдается явление дисперсии, т.е. параметры волны зависят от частоты генератора.

Основные параметры волновода рассчитываются по формулам:
длина волны в волноводе:

$$\lambda_{в} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}}; \quad (2)$$

фазовая скорость

$$V_{\phi} = \frac{\bar{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}}; \quad (3)$$

групповая скорость

$$V_{гп} = \bar{c} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}; \quad (4)$$

волновое сопротивление

$$Z_{\text{в}} = \frac{377}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}}, \quad (5)$$

где λ – длина волны генератора.

В прямоугольных волноводах для передачи энергии используют основную волну H_{10} с $\lambda_{\text{кр}}=2a$.

Первой высшей волной является H_{20} с $\lambda_{\text{кр}}=a$. Поэтому, чтобы не было искажений сигнала, длина волны генератора должна быть:

$$a < \lambda < 2a,$$

соответственно рабочий диапазон частот лежит в пределах:

$$\frac{2\Delta f}{f_0} = \frac{f_2 - f_1}{f_0}, \quad \% \quad (6)$$

где $f_1 = \frac{\bar{c}}{\lambda_{\text{кр}H_{10}}} = \frac{\bar{c}}{2a};$

$$f_2 = \frac{\bar{c}}{\lambda_{\text{кр}H_{20}}} = \frac{\bar{c}}{a};$$

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}.$$

Теоретическая полоса волновода по формуле (6) составляет 66%, практически волновод используется в диапазоне 20-25% из-за явления дисперсии.

$K_{\text{ст}U}$, характеризующий режим работы волновода и качество согласования, можно определить с помощью волноводной измерительной линии.

Принцип работы линии основан на исследовании картины поля стоячей и смешанной волны с помощью зонда, пропущенного через щель во внутреннюю полость волновода. Зонд связан с настраиваемой измерительной зондовой головкой. Головка укреплена на каретке, перемещаемой вдоль волновода. Зонд обеспечивает слабую связь с электрическим полем в волноводе. Ток, наведенный ЭДС, пропорционален напряженности электрического поля в месте расположения зонда. После выпрямления детектора ток поступает в цепь индикатора – микроамперметра М – 24.

$K_{\text{ст}U}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{ст}U} = \sqrt{\alpha_{\text{max}} / \alpha_{\text{min}}},$$

где α – показания микроамперметра М-24 в делениях шкалы.

3. Контрольные вопросы

3.1 Для чего используют волноводы? В каком диапазоне частот они целесообразны и почему?

- 3.2 Что такое критическая длина волны и от чего она зависит?
- 3.3 Какие типы волн и почему образуются в волноводах?
- 3.4 Что показывают индексы m и n в прямоугольном волноводе?
- 3.5 Какова длина волны в волноводе по сравнению с длиной волны генератора?
- 3.6 Дайте определение фазовой скорости.
- 3.7 Дайте определение групповой скорости.
- 3.8 Что такое основной тип волны?
- 3.9 Какая волна является основной для прямоугольного волновода?
- 3.10 Как определить рабочий диапазон волновода?
- 3.11 В чем заключается физический смысл $K_{стU}$?
- 3.12 Как определить $K_{стU}$ с помощью измерительной линии?
- 3.13 Как осуществляется согласование волнопроводов?
- 3.14 Как осуществляется возбуждение волнопроводов?

4. Перечень приборов и оборудования

- 4.1 Генератор Г4-81.
- 4.2 Волноводная измерительная линия Р1-16.
- 4.3 Микроамперметр М-24.
- 4.4 Нагрузка Э2-18.
- 4.5 Короткозамыкатель.

5. Порядок выполнения работы

- 5.1 Собрать схему измерений (рис. 1).

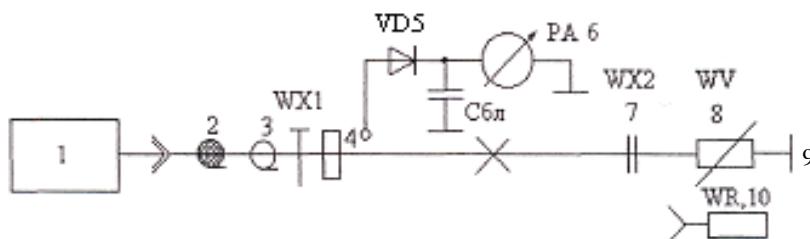
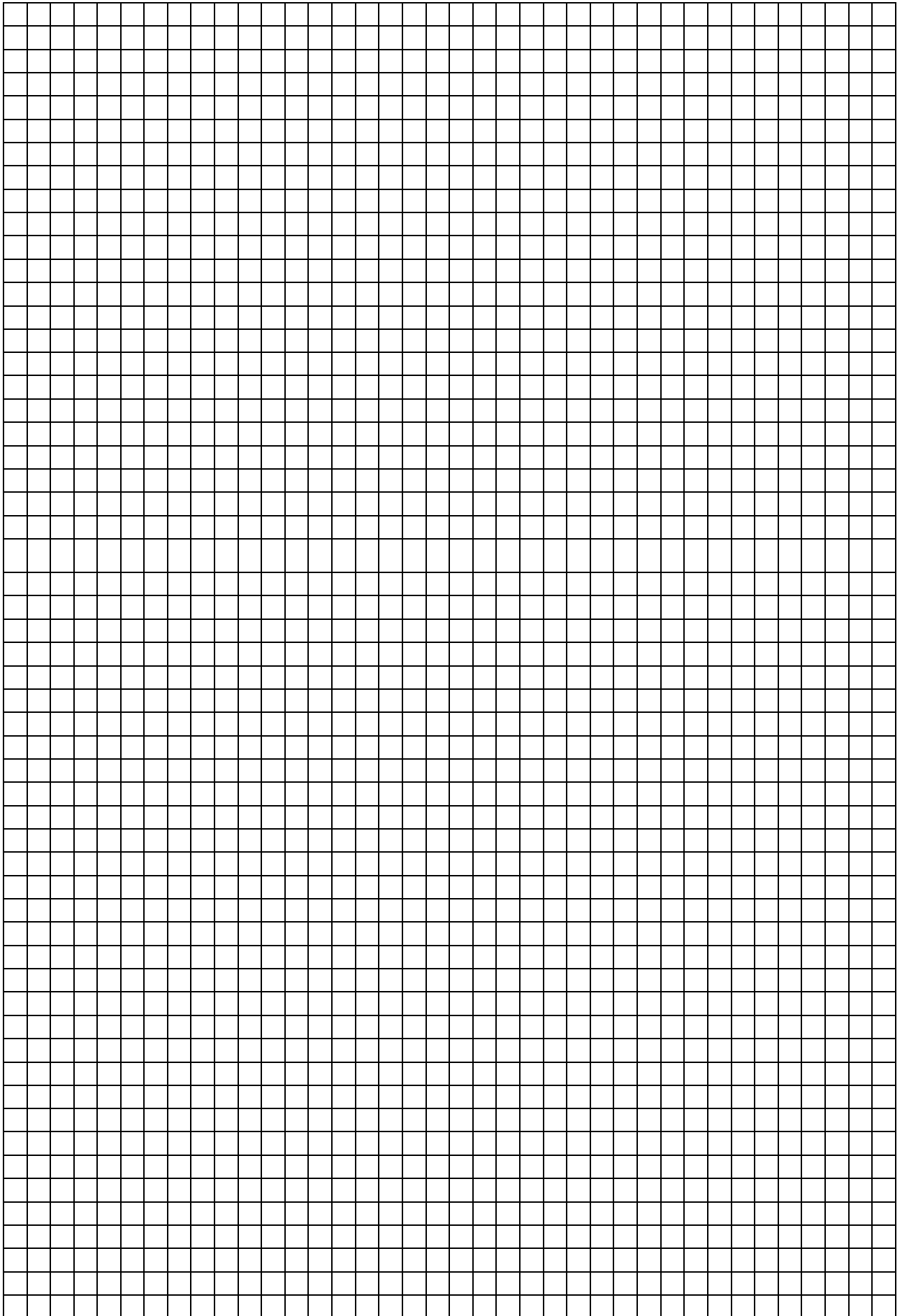


Рис. 1

1 – генератор Г4-81; 2 – кабель коаксиальный с волновым сопротивлением 50 Ом; 3 – коаксиально-волновой переход; 4 – линия измерительная волноводная Р1-16; 5 – головка детекторная; 6 – микроамперметр измерительный М-24; 7 – переход волноводный; 8 – аттенуатор ДЗ-37; 9 – короткозамыкатель; 10 – нагрузка согласованная

- 5.2 Включить тумблер (СЕТЬ) генератора Г4-81.
- 5.3 Установить переключатель «Род работ» в положение «НГ».
- 5.4 Установить частоту генератора, заданную преподавателем.
- 5.5 Настроить измерительную головку измерительной волноводной линии по максимуму показаний микроамперметра при короткозамыкателе на выходе.
- 5.6 Снять показания микроамперметра в режиме стоячей волны, перемещая индикаторную головку через 1 см.
- 5.7 Результаты измерений занести в таблицу.
- 5.8 Выключить генератор. Заменить короткозамыкатель согласованной нагрузкой. Включить генератор.
- 5.9 Снять показания микроамперметра в режиме смешанных волн, перемещая индикаторную головку через 1 см.
- 5.10 Результаты измерений занести в таблицу.



Группа	Лаборатория радиотехники	Дата
ФИО _____	Лабораторное занятие № 8 «Исследование волновода»	Зачет

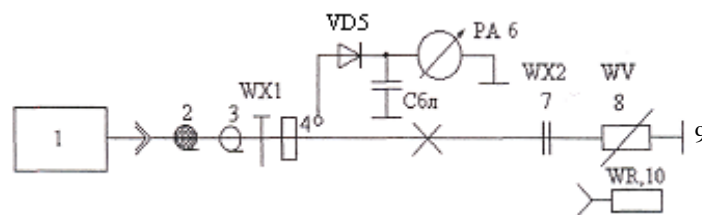
1. Цель занятия

Ознакомиться с конструкцией измерительной волноводной линии, методикой измерения стоячей волны, определить длину волны в волноводе, влияние нагрузки на режимы работы волноводной линии, рассчитать основные параметры волновода.

2. Перечень приборов и оборудования

- 2.1 Генератор Г4-81.
- 2.2 Волноводная измерительная линия Р1-16.
- 2.3 Индикатор-микроамперметр М-24.
- 2.4 Нагрузка Э2-18.
- 2.5 Короткозамыкатель.

3. Структурная схема измерений



4. Результаты измерений

Таблица

Результаты измерений эюры тока

$l, \text{ см}$							
$Z_H=0$	$\alpha, \text{ дел}$						
$R_H=Z_B$	$\alpha, \text{ дел}$						

5. Рассчитаем КБВ и КСВ

5.1 При $Z_H=0$

$$КБВ = \sqrt{\frac{\alpha_{\min}}{\alpha_{\max}}} =$$

$$КСВ = \frac{1}{КБВ} =$$

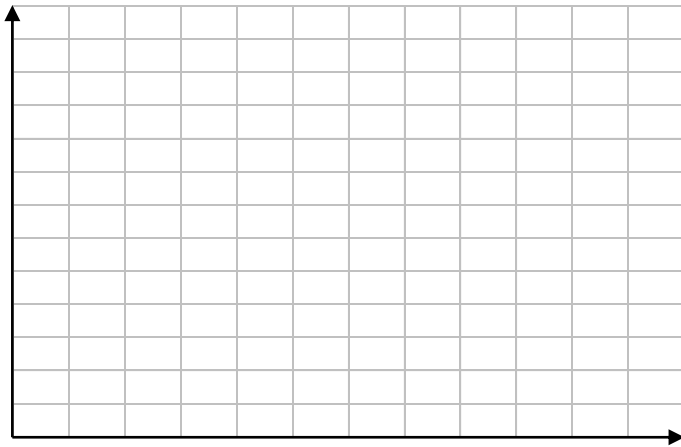
5.2 При $R_H=Z_B$

$$КБВ = \sqrt{\frac{\alpha_{\min}}{\alpha_{\max}}} =$$

$$КСВ = \frac{1}{КБВ} =$$

6. Этюры тока

α ()



l ()

7. Результаты вычислений

7.1 Рассчитать длину волны генератора.

$$f_{ген} = \quad \quad \quad \lambda = \frac{\bar{c}}{f_{ген}} =$$

7.2 Графически определить длину волны в волноводе.

$$\lambda_{граф} =$$

7.3 Рассчитать теоретическую длину волны в волноводе.

$$a =$$

$$b =$$

$$\lambda_{кр H_{10}} = 2a =$$

$$\lambda_{в} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр H_{10}}} \right)^2}} =$$

7.4 Рассчитать $v_{ф}$ и $v_{гр}$

$$v_{ф} = \frac{\bar{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр H_{10}}} \right)^2}} =$$

$$v_{гр} = \bar{c} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр H_{10}}} \right)^2} =$$

7.5 Определить рабочий диапазон волновода.

$$\lambda_{кр\ H_{20}} = a = \quad \quad \quad \lambda_{кр\ H_{01}} = 2b =$$

—————→ λ ()

Указать пределы изменения рабочей длины волны в волноводе:

$$\leq \lambda_{раб} <$$

Рассчитать относительный рабочий диапазон волновода:

$$\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_0} \cdot 100\% =$$

8. Выводы

8.1 Указать, в каком режиме работает волновод при $Z_H = 0$ и $R_H = Z_B$ теоретически и практически.

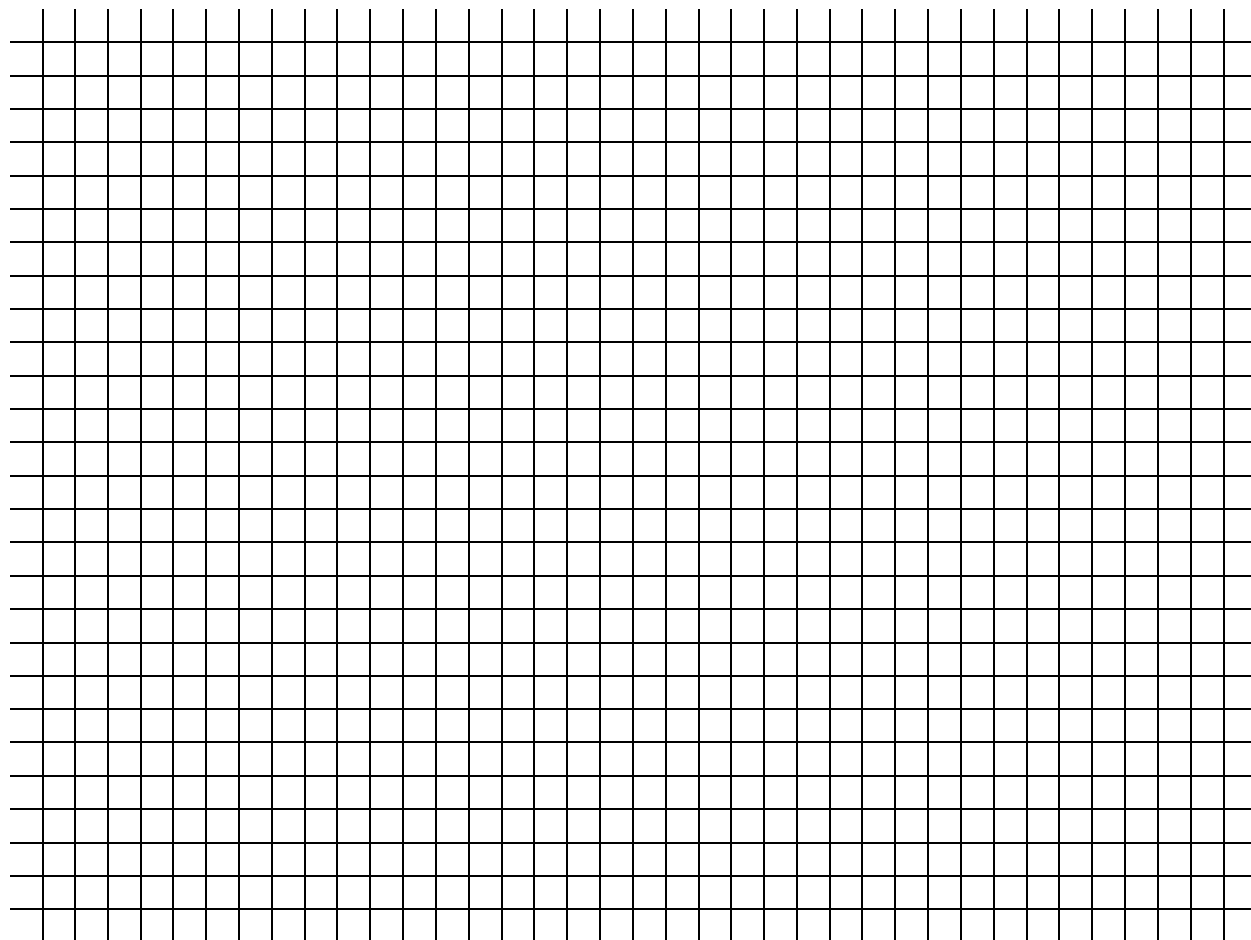
8.2 Сравнить:

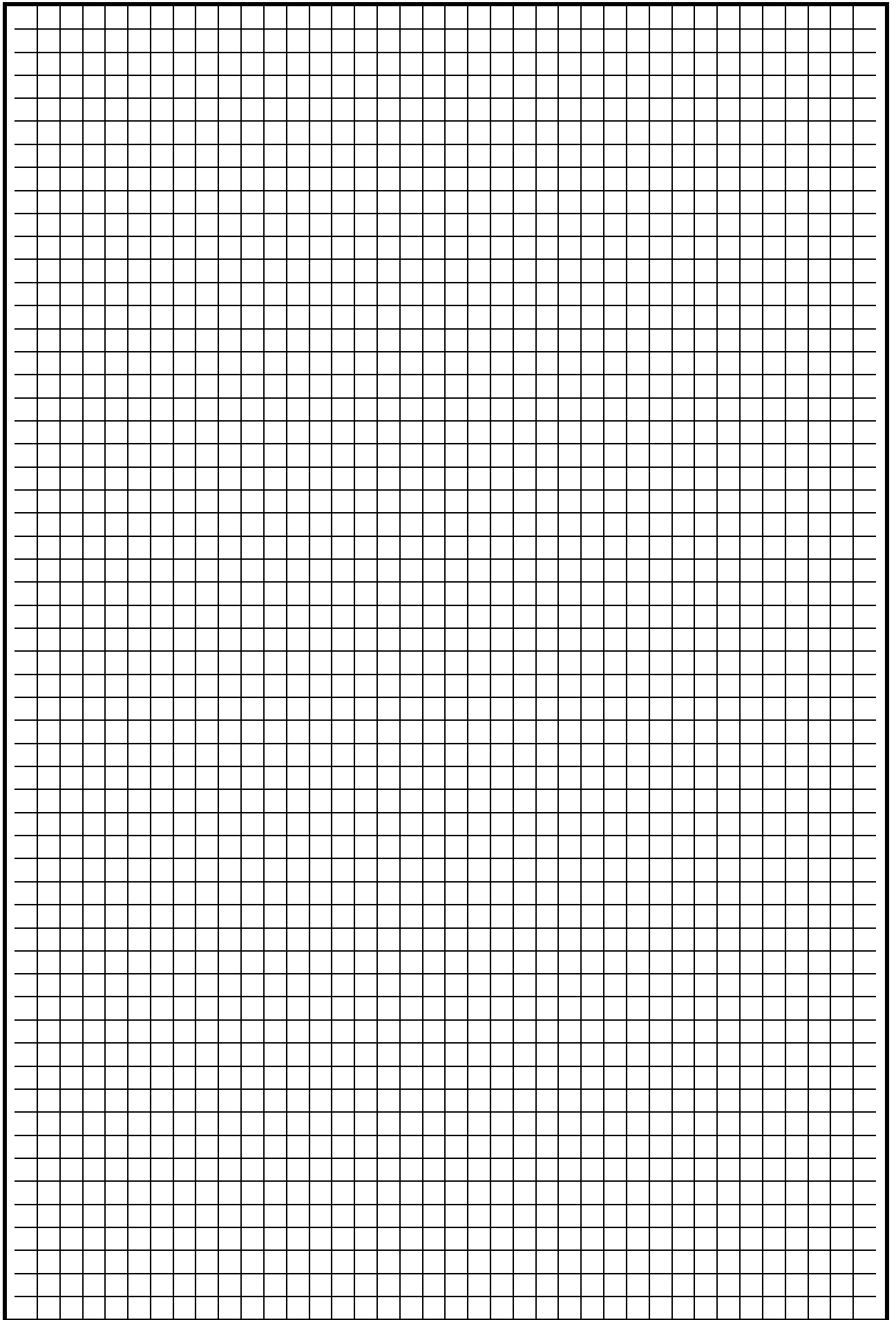
8.2.1 Длину волны в волноводе с длиной волны генератора.

8.2.2 Длину волны в волноводе, определенную графически и теоретически.

8.2.3 v_ϕ и $v_{гр}$ со скоростью света.

8.3 Пояснить возможный диапазон изменения рабочей длины волны.





Список используемых источников

Печатные издания

1. Нефедов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для СПО / В.И. Нефедов, А.С. Сигов.- М.: Юрайт, 2018.- 267с.

Электронные издания (электронные ресурсы)

1. Романюк В.А. Основы радиоэлектроники: учебник для СПО / В.А. Романюк.- Москва: Издательство Юрайт, 2024.- 288с. - ЭБС Юрайт:
<https://urait.ru>

2. Нефедов, В. И. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для среднего профессионального образования / В. И. Нефедов, А. С. Сигов ; под редакцией В. И. Нефедова. - Москва : Издательство Юрайт, 2024. - 319 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», 2024 г.

5. «Радиотехнические цепи и сигналы (Учебное пособие)», ч.2, Н.Е. Анисимова, Ростов-на-Дону, ГБПОУ РО «РКРИПТ», 2024 г.

6.«Радиотехнические цепи и сигналы (Практикум)» Н.Е. Анисимова, Т.И. Колпакова, Ростов-на-Дону, ГБПОУ РО «РКРИПТ», 2024 г.

7. tech-journals.ru

8. rlocman.ru

9. delpress.ru