



Федеральное агентство по рыболовству
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

Утверждаю
Заместитель начальника колледжа
по учебно-методической работе
А.И.Колесниченко

ОП.11 РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Методическое пособие для выполнения практических занятий
по специальности

**11.02.03 Эксплуатация оборудования радиосвязи и электрорадионавигации
судов**

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ

РАЗРАБОТЧИК
ЗАВЕДУЮЩИЙ ОТДЕЛЕНИЕМ
ГОД РАЗРАБОТКИ

Учебно-методический центр
Никишин М.Ю.
2025

Содержание

Введение	3
Перечень практических занятий	4
Практическое занятие №1 Контроль режима усилителя по приборам	5
Практическое занятие №2 Составление схемы ГВВ по заданию. Выбор режима, расчёт и выбор элементов	7
Практическое занятие №3. Исследование режима работы транзисторного усилителя	9
Практическое занятие №4 Исследование схем умножения частоты	13
Практическое занятие №5. Исследование сложной схемы выходного каскада	18
Практическое занятие № 6 Исследование трехточечной схемы транзисторного автогенератора	23
Практическое занятие №7. Исследование стабильности частоты автогенератора	25
Практическое занятие №8 Формирование частоты в судовых радиопередатчиках	29
Практическое занятие №9 Исследование схемы амплитудной модуляции	30
Используемые источники литературы.....	34

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.3/34

Введение

Методические указания по выполнению практических занятий (для обучающихся) составлены в соответствии с рабочей программой ОП.11 «Радиопередающие устройства»

Рабочей программой дисциплины предусмотрено проведение 20 часов практических занятий.

Целью проведения практических занятий является закрепление теоретических знаний и приобретение необходимых практических навыков и умений по отдельным темам курса. Наряду с формированием умений и навыков в процессе лабораторных работ, обобщаются, вырабатывается способность и умение использовать теоретические знания на практике, развиваются интеллектуальные умения.

Для выполнения практических заданий обучающийся должен знать:
 физические процессы в радиопередатчиках;
 классификацию, структурные и электрические схемы радиопередатчиков;
 устройство и принцип действия радиопередатчиков.

В процессе выполнения работ у курсантов формируются профессиональные компетенции:

ПК 1.1 Осуществлять техническую эксплуатацию систем судовой радиосвязи и электрорадионавигации.

ПК 1.3 Обеспечивать работоспособность радиооборудования на судах.

ПК 1.5 Вести рабочую документацию по техническому обслуживанию и ремонту судового оборудования радиосвязи.

ПК 3.1 Диагностировать оборудование радиосвязи и средства электрорадионавигации судов при помощи контрольно-измерительных приборов.

Текст выполняемых практических занятий курсанты должны писать чернилами, понятным почерком. Схемы, эскизы, таблицы необходимо выполнять только карандашом и только с помощью чертежных инструментов.

На зачете курсант должен: пояснить, как проводится расчет; уметь проанализировать полученные результаты (в соответствии с основными требованиями к знаниям и умениям по данной теме рабочей программы). Ответить на вопросы для самопроверки. В процессе выполнения практических занятий обучающийся должен получить практический опыт:

анализировать работу элементов и систем и находить эффективные способы предупреждения их отказов;

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.4/34

пользоваться контрольно-измерительной аппаратурой, инструментом, средствами механизации;

оформлять техническую документацию;

обеспечивать соблюдение правил охраны труда и окружающей среды.

Перечень практических занятий

№ п/п	Наименование практических занятий	Кол-во часов
Раздел 2. Основы теории и расчет генераторов с внешним возбуждением (ГВВ)		
1	Практическое занятие №1 Контроль режима усилителя по приборам	2
2	Практическое занятие №2 Составление схемы ГВВ по заданию. Выбор режима, расчёт и выбор элементов.	2
3	Практическое занятие №3. Исследование режима работы транзисторного усилителя	2
4	Практическое занятие №4 Исследование схем умножения частоты.	2
5	Практическое занятие №5. Исследование сложной схемы выходного каскада.	2
Раздел 3. Основы теории и расчет генераторов с самовозбуждением (автогенераторов)		
Тема 3.2. Схемы автогенераторов, их анализ и расчет		
6	Практическое занятие № 6 Исследование трехточечной схемы автогенератора.	2
Тема 3.3. Стабилизация частоты автогенератора		
7	Практическое занятие №7 Исследование стабильности частоты автогенератора.	2
Раздел 4. Возбудители радиопередатчиков.		
Тема 4.1. Принцип построения возбудителей радиопередатчиков		
8	Практическое занятие №8 Формирование частоты в судовых радиопередатчиках.	2
Раздел 5. Управление колебаниями радиочастоты		
Тема 5.1. Управление колебаниями радиочастоты		
9	Практическое занятие №9 Исследование схемы амплитудной модуляции.	4
ИТОГО		20

Раздел 2 Основы теории и расчет генераторов с внешним возбуждением (ГВВ) Тема 2.3 Режимы работы генераторов с внешним возбуждением

Практическое занятие №1 Контроль режима усилителя по приборам

Цель работы:

1. Обосновать место включения измерительных приборов в схему усилителя.
2. Изучить принцип системы встроенного контроля усилителя.

Методические указания

Для контроля работы усилителя используются индикаторы тока, напряжения и мощности. В цепи постоянного тока таким индикатором служит амперметр или вольтметр. Измерительные приборы необходимо включать так, чтобы они не вносили искажений в работу усилителя: не влияли на частоту его колебаний, не изменяли их форму и величину. Причиной такого влияния прежде всего служит вносимая ими ёмкость. Чтобы предотвратить это влияние, необходимо правильно выбрать место включения измерительного прибора. Амперметры и вольтметры по возможности включаются так, чтобы один из их контактов был заземлён.

Например, для измерения постоянной составляющей базового тока амперметр должен быть включен в разрыв базовой цепи со стороны корпуса. Включение измерительных приборов показано на рис. 1.

В цепи переменного тока используются индикаторы тока, напряжения и мощности, построенные на основе трансформаторов тока, делителей напряжения и диодов. Индикаторы преобразуют переменный сигнал в постоянный, который, как и в предыдущих случаях, подаётся на измерительный прибор.

Схема простейшего индикатора приведена на рис. 2. С ёмкостного делителя C_1 , C_2 напряжение поступает на диод D_1 через C_3 . Нагрузкой диода является резистор R_3 , элементы C_3 , R_2 образуют сглаживающий фильтр, а резистор R_1 служит для пропуска постоянного тока. Показания ИП (измерительного прибора) пропорциональны напряжению в шине.

Схема с удвоением напряжения (рис. 3) работает следующим образом. При положительном полупериоде напряжения конденсатор C_1 заряжается через диод D_1 до амплитудного значения и хранит свой заряд. Мгновенная полярность отрицательного полупериода и напряжение, оставшееся на C_1 , включаются последовательно. Поэтому конденсатор C_2 зарядится суммарным напряжением через диод D_2 . С конденсатора C_2 удвоенное напряжение подается на ИП через фильтр C_3 , R_1 .

Пример индикатора тока изображен на рис. 4. Трансформатор тока T_r включен последовательно в цепь, следовательно, показания ИП будут пропорциональны току. Резистор R_1 служит для получения частотно-независимой характеристики.

Индикатор мощности. Индикатор мощности совмещает функции двух датчиков: напряжения и тока. Он включается в антенну для контроля изучения в диапазонах КВ – ПВ. Схема индикатора мощности аналогична датчику модуля сопротивления см. рис. 5. Различие лишь в следующем.

В датчике модуля токи диодов D_7 и D_8 идут через общую нагрузку в разных направлениях, а в схеме комбинированного индикатора они должны суммироваться. Для этого следует опрокинуть полярность включения одного из диодов. Показания прибора будут пропорциональны току и напряжению в антенне или фидере. Однако целесообразно иметь «логарифмический» характер отклонения прибора. В этом случае изменяется чувствительность прибора: она должна быть большей при малых значениях тока (напряжения), и наоборот. С этой целью в приборе используется диодный шунт. При увеличении напряжения ток через диод увеличивается, сопротивление диода уменьшается и его шунтирующее действие возрастает.

Схема индикатора мощности в антенне для диапазона УКВ приведена на рис. 6. Схема содержит фидер I и два отрезка проводов одинаковой длины $l_1 = l_2$, вмонтированных в фидер и параллельных центральной жиле i . Между проводами I и l_1, l_2 существует слабая индуктивная связь, емкостная связь незначительна, поэтому э.д.с., индуцированная в l_1, l_2 , будет пропорциональна току в фидере. Длина отрезков в 10 раз меньше $\lambda / 4$, следовательно, ток и напряжение в фидере на протяжении этой длины можно считать неизменными. При идеальном согласовании в фидере будет бегущая волна, движущаяся от радиопередатчика к антенне. В отрезках l_1 и l_2 индуцируются э. д. с. одинакового направления и поступают на диоды D_1, D_2 через нагрузочные резисторы R_1, R_2 , и конденсаторы C_1, C_2 , блокирующие прибор ИП. При этом из-за различной полярности включения диодов ток возникает только в одном кольце: $D_2, ИП, R_2$, в котором диод D_2 открыт; в кольце $D_1, ИП, R_1$ диод D_1 закрыт. Прибор покажет максимум.

В другом, крайнем случае, когда согласования нет, в фидере будет стоячая волна. При этом падающая волна открывает одно кольцо, а отражённая – другое. Через прибор текут два встречно-направленных тока одинаковой величины, происходит компенсация, и тока через ИП нет. Разность потенциалов между точками А и Б равна нулю.

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.7/34

В реальном случае согласование всегда неточное и в фидере устанавливается режим смешанной волны, при котором доминирующей должна быть бегущая волна. Ток через кольцо, реагирующее на падающую волну, будет больше, и прибор покажет разностный ток колец. Ток через ИП возрастает по мере приближения к лучшему согласованию и, значит, большей отдаче мощности в антенну.

Ход работы

1. Построить электрическую принципиальную схему резонансного усилителя, включив измерительные приборы для контроля за постоянными напряжениями смещения и возбуждения и постоянными составляющими базового и коллекторного токов. Обосновать выбор точек включения. Схему и обоснование выбора включения измерительных приборов занести в отчёт.

2. Изучить систему встроенного контроля возбудителя. Для этого на шасси найти контрольные приборы и тумблеры, переключающие контрольные цепи. По технической документации найти контролируемый каскад, указанный преподавателем. Из электрической принципиальной схемы этого каскада вычертить в отчёт схемы индикаторов контроля и описать их работу.

3. Оформить отчёт, сделав выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите типы индикаторов тока, напряжения и мощности. в цепи постоянного тока.

2. Как необходимо включать измерительные приборы?

3. Каков принцип построения индикаторов тока, напряжения и мощности?

4. Опишите работу индикаторов тока, напряжения и мощности. а структурной схеме радиопередатчика покажите место их включения.

5. Дайте понятие режимов бегущей и стоячей волн в фидере. Как они образуются? В чём их особенности?

Практическое занятие №2 Составление схемы ГВВ по заданию. Выбор режима, расчёт и выбор элементов

Цель занятия:

1. Закрепления знания по построению цепей ГВВ.

2. Получение практических навыков построения электрических принципиальных схем ГВВ и их расчёта.

План занятия:

1. Построить электрическую принципиальную схему резонансного ГВВ из заданных преподавателем цепей (варианты задания прилагаются).
2. Выбрать режим работы составленного ГВВ.
3. Сделать электрический расчёт выбранного режима.
4. Рассчитать элементы схемы, выбрать детали.
5. Составить спецификацию.

Варианты задания:

1. Тип схемы:

- 1.1. Усилитель на биполярном транзисторе.
- 1.2. Усилитель на полевом транзисторе.

2. Схема возбуждения:

- 2.1. С трансформаторной связью с возбудителем;
- 2.2. С ёмкостной связью с возбудителем;
- 2.3. С автотрансформаторной связью с возбудителем.

3. Схема смещения для режима:

- 3.1. Класс А;
- 3.2. Класс АВ;
- 3.3. Класс С;
- 3.4. Класс В.

Все варианты п. 3 должны иметь стабилизацию рабочей точки.

4. Схема питания

- 4.1. Последовательная;
- 4.2. Параллельная.

5. Составить отчёт. В отчёте должны быть:

- обоснование выбора режима ГВВ;
- расчёт режима ГВВ по цепям;
- расчёт элементов нагрузки (колебательного контура);
- расчёт параметров деталей схемы, обоснование типа деталей, выбор деталей по справочнику;
- чертёж ГВВ – схема электрическая принципиальная;
- спецификация (вычерченная отдельно или совмещённая со схемой).

Практическое занятие №3. Исследование режима работы транзисторного усилителя

Цель работы:

Исследовать режим и энергетiku генератора с посторонним возбуждением с помощью осциллографа.

Время работы – 2 часа.

Количество курсантов, выполняющих работу – 2-3 человека.

Приборы и материалы:

1. Лабораторный макет генератора с посторонним возбуждением с измерительными приборами для измерения $I_{к0}$ и $I_{б0}$.
2. Источник питания с регулируемыми напряжениями E_k и E_b .
3. Генератор звуковой частоты ГЗ-34.
4. Осциллограф С1-5.

План работы:

В объем работы входит рассмотрение и исследование следующих вопросов:

1. Исследование зависимости режима генератора с посторонним возбуждением от следующих параметров:

- напряжения на коллекторе - E'_a ;
- напряжения смещения на базе - E'_c ;
- напряжения возбуждения - U_{em} ;
- сопротивления нагрузки - R_{oe} .

2. Изменяя поочередно величины $E'_a, E'_c, U_{em}, R_{oe}$ следует зарисовать с экрана осциллографа:

- форму напряжения возбуждения;
- форму импульса коллекторного тока;
- форму импульса базового тока;
- форму переменного напряжения на коллекторе.

Зарисовки осциллограмм производить для недонапряженного критического, перенапряженного режимов.

3. Исследовать зависимость напряженности режима от величины R_{oe} контура.

Краткие сведения из теории:

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.10/34

Генераторы с посторонним возбуждением (усилители) могут работать в режиме колебаний I и II ряда. В высокочастотных каскадах передатчиков в основном применяются колебания II ряда.

При колебаниях II ряда коллекторный ток имеет форму импульсов, вид которых зависит от напряженности режима и от угла отсечки. Напряженность режима зависит от величины U_{em} , E_b , E_k , R_{oe} . При изменении величин питающих напряжений и сопротивления нагрузки в обе стороны от критического режима во всех случаях наблюдается переход к перенапряженному или недонапряженному режиму. Например, при изменении амплитуды напряжения возбуждения в сторону больших величин режим из недонапряженного переходит в критический, а затем в перенапряженный.

Также изменяется режим при увеличении E_b и R_{oe} . При малых величинах E_k режим усилителя будет перенапряженным, а затем с увеличением E_k переходит в критический и далее в недонапряженный.

С увеличением сопротивления нагрузки режим усилителя переходит из недонапряженного в критический, а затем в перенапряженный. Это следует из нагрузочных характеристик усилителя. Например, принимая за исходный перенапряженный режим и уменьшая величину R_{oe} , наблюдая переход к критическому режиму и далее к недонапряженному. То же самое наблюдается и при увеличении абсолютной величины отрицательного смещения на базе E_b . В обоих случаях импульс вначале имеет провал на вершине, который постепенно уменьшается. В критическом режиме импульс имеет косинусоидальную форму, которая остается в недонапряженном режиме. Тем не менее между этими двумя режимами имеет место и существенное различие. При уменьшении R_{oe} импульс тока растет, несколько растет также и угол отсечки. При увеличении по абсолютной величине напряжения смещения E_b , наоборот, имеет место уменьшение импульса тока и угла отсечки, при большом E_b ток становится равным нулю, т.е. транзистор запирается. Поэтому для всех исследуемых случаев следует тщательно зарисовать наблюдаемые формы токов и напряжений, а затем детально проанализировать и сравнить полученные результаты.

Перед выполнением этой работы полезно повторить из курса «Радиопередающие устройства» тему «Влияние питающих напряжений и сопротивления нагрузки на режим работы усилителя».

В результате подготовки к выполнению лабораторной работы учащиеся (курсанты) должны уметь отвечать на следующие вопросы:

1. Какими свойствами характеризуются колебания I и II рода?
2. Как практически распознать колебания I и II рода?
3. Что такое угол отсечки?
4. Как определить напряжение режима усилителя по показаниям приборов, изменяющих $I_{к0}$ и $I_{б0}$?
5. Чем отличаются импульсы тока в различных режимах по напряженности?
6. Усилитель работает в критическом режиме. Как повлияет на напряженность режима, высоту импульса анодного тока и угол отсечки:
 - увеличение E_k , E_b , U_m , $R_{ое}$;
 - уменьшение E_k , E_b , U_m , $R_{ое}$?

Порядок выполнения работы:

1. Изучить назначение ручек управления на передней панели приборов.

Напряжение возбуждения $U_{ме}$ изменять регулятором выходного напряжения звукового генератора. Напряжения E_b и E_k регулировать соответственно с помощью потенциометров R_1 и R_3 , установленных на передних панелях источников питания. Регулировку величины $R_{ое}$ производить изменением активного сопротивления в контуре R_4 .

Частота контура усилителя постоянна, расстройка осуществляется изменением частоты звукового генератора. Резонансная частота контура выбрана ~ 1 кГц. Выбор столь низкой частоты объясняется тем, что при такой частоте емкостные токи, текущие через лампу, и паразитные емкости схемы еще очень мало влияют и не искажают заметно форму кривых анодного и сеточного токов.

2. Собрать схему установки, приведенной на рисунке – 1.

3. Пригласить преподавателя или лаборанта проверить схему. После проверки произвести включение установки под напряжение.

4. Установить номинальное напряжение и путем регулировки других напряжений ($U_{мб}$ и U_b), сопротивления нагрузки $R_{ое}$ добиться критического режима, который легко определить по форме импульса тока. Записать показания приборов $I_{б0}$ и $I_{к0}$ для критического режима в таблицу 1.

Таблица 1

Режим	$I_{б0}$ mA	$I_{к0}$ mA
Недонапряженный		
Критический		
перенапряженный		

5. Не изменяя режима усилителя посмотреть форму напряжения возбуждения на выходе звукового генератора и зарисовать осциллограмму.

6. Подключить осциллограф к резистору R_7 , посмотреть форму тока и зарисовать ее под осциллограммой $U_{mб}$, расположив их по вертикали. Все последующие осциллограммы также располагать по вертикали сверху вниз.

7. Подключить осциллограф к резистору R_5 , посмотреть форму тока (если он имеется), зарисовать осциллограмму.

8. Снижая коллекторное напряжение, установить перенапряженный режим с глубиной впадины примерно 0,5 и выполнить пункты 5, 6, 7 и зарисовать соответствующие осциллограммы, расположив их рядом с предыдущими.

9. Показания приборов $I_{к0}$ и $I_{б0}$ записать в таблицу 1 для перенапряженного режима.

10. Установить $E_k > E_{к ном}$ и регулируя величины других напряжений добиться недонапряженного режима. Посмотреть и зарисовать осциллограммы, выполняя пункты 5, 6, 7, расположив их рядом с предыдущими.

11. Показания приборов $J_{к0}$ и $J_{б0}$ записать в таблицу 1 для недонапряженного режима.

12. Изменяя $E_б$, посмотреть и зарисовать осциллограммы импульса тока при $Q < 90^\circ$, $Q = 90^\circ$, $Q > 90^\circ$. Напряжение $E_б$ при $Q = 90^\circ$ будет напряжением запираения. Его величину записать в отчет.

13. Установить $E_б$ равное напряжению запираения, т.е. $Q = 90^\circ$, подать различные напряжения на U_m . Посмотреть и зарисовать осциллограммы токов. Для каждого опыта записать показания приборов $I_{б0}$ и $I_{к0}$ в таблицу 2.

Таблица 2

U_m (В)					
$I_{б0}$ (mA)					
$I_{к0}$ (mA)					

14. Установить критический режим усилителя. Ему соответствует импульс тока с притупленной вершиной. Изменяя величину сопротивления контура резистором R_4 зарисовать 2-3 осциллограммы для различных величин R_{0e} . Следует иметь ввиду, что изменение R_{0e} приводит к расстройке контура. В зависимости от преобладания индуктивной или емкостной реакции, импульс тока становится несимметричным – высота его справа больше чем слева, или наоборот. Знак изменения частоты определите по лимбу звукового генератора.

15. Составить отчет о проделанной работе по установленной форме.

Вопросы для подготовки к защите:

1. Почему резонансу контура соответствует минимум тока $I_{к0}$ и максимум тока $I_{б0}$?
2. Как зависит величина к.п.д. усилителя от угла отсечки Q , чем ограничивается уменьшение угла отсечки?
3. Изменением каких параметров усилителя можно изменить угол отсечки тока i_k ?
4. Как приближенно определить величину $i_k \max$, измерив $I_{к0}$, если считать в среднем $Q = 90^\circ$?
5. Каким образом по форме импульса тока в перенапряженном режиме и расстроенном контуре можно установить характер реактивного сопротивления контура (индуктивный или емкостный)?
6. Как влияет расстройка контура на высоту импульсного тока в недонапряженном режиме?
7. Почему максимальное значение мощности в режиме усиления при $Q = 120^\circ$ не используется в высокочастотных каскадах передатчиков? Почему более выгодным считают $Q = 90^\circ$?

Практическое занятие №4 Исследование схем умножения частоты**Цель работы:**

Исследование режима работы удвоителя частоты

Время – 2 часа.

Количество курсантов, выполняющих работу – 2 человека.

Приборы и материалы:

1. Лабораторный макет удвоителя частоты.
2. Генератор сигналов.
3. Осциллограф С1-5 или другого типа.
4. Источники питания.
5. Электронный милливольтметр ВЗ-39 или другого типа.
6. Тестер типа Ц4341 или другого типа.

Использованные источники: [1], [5].

План работы:

1. Повторение по литературе энергетики и особенностей умножителей частоты.
2. Подбор оптимального режима удвоителя частоты.
3. Просмотр осциллограмм коллекторного тока.
4. Снятие графика $U_{mk}=\varphi(E_{эб})$.

Краткие сведения из теории:

Умножители могут собраны на лампах и полупроводниковых приборах – диодах и транзисторах. Мощные умножители преимущественно собираются на лампах, маломощные – на полупроводниковых приборах.

Умножители частоты позволяют расширить диапазон радиопередатчика, понизить рабочую частоту возбудителя, повысить стабильность частоты.

Теоретически можно умножать частоту любое число раз. Но с увеличением номера гармоники уменьшается амплитуда тока, а следовательно, и мощность в нагрузке. Это снижает энергетические показатели каскада. Поэтому в большинстве случаев частоту в ламповых и транзисторных схемах умножают в 2-3 раза. Для получения оптимального режима лампы или транзистора при умножении частоты необходимо:

- контур в выходной цепи настроить на n -ю гармонику по сравнению с частотой напряжения возбуждения;

- угол отсечки коллекторного тока сделать таким, при котором выделяемая гармоника тока имеет максимальное значение, то есть $\frac{120^\circ}{n}$, где n – номер гармоники.

Таким образом, для удвоителя – $Q = 60^\circ$, для утроителя – $Q = 40^\circ$. Для этого необходимо увеличить напряжение смещения и, если потребуются, увеличить амплитуду напряжения возбуждения.

Работа удвоителя с малыми углами отсечки выгодна, так как получается достаточно большая колебательная мощность и высокий к.п.д. Однако при малых углах отсечки и достаточно большом коллекторном токе приходится подавать на схему большое смещение и большое напряжение возбуждения.

В транзисторном умножителе частоты энергетические показатели ухудшаются, если проявляется влияние выходного напряжения множителя на коллекторный ток. В импульсе коллекторного тока возможны уплощения вершины или провалы даже в недонапряженном режиме. Появление этих искажений может вызвать уменьшение амплитуды n -й гармоники выходного тока.

При самоподготовке учащийся должен уметь самостоятельно составить схему умножителя частоты, проанализировать графики А.И. Берга, уметь объяснить зависимость величины токов высших гармоник от угла отсечки, сравнить энергетические соотношения каскада в режиме усиления и в режиме умножения частоты. Особое внимание следует обратить на мощность потерь на коллекторе и к.п.д. умножителя и на характер изменения этих показателей при увеличении номера гармоники.

В результате подготовки учащиеся должны уметь отвечать на следующие вопросы:

1. Что надо изменить в транзисторном каскаде, чтобы перейти из режима усиления в режим удвоения частоты?
2. Какой режим для транзистора тяжелее: режим умножения или режим усиления, почему?
3. Почему умножение частоты более чем в три раза в одном каскаде считается нецелесообразным?
4. Чему равна мощность утроителя при $Q = 90^\circ$?

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с оборудованием, используемым в лабораторной работе, и собрать лабораторную установку, структурная схема которой приведена на рисунке - 6.
2. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой лабораторного макета умножителя частоты, приведенной на рисунке - 7.
3. Пригласить преподавателя или лаборанта проверить собранную схему; получив разрешение, включить схему под напряжение.
4. Определить частоту напряжения возбуждения, которую надо подать на вход удвоителя, если выходной контур настроен на частоту 300 кГц. Установить эту частоту на шкале генератора и записать ее в отчет.
5. По указанию преподавателя установить на выходе генератора амплитуду напряжения возбуждения.

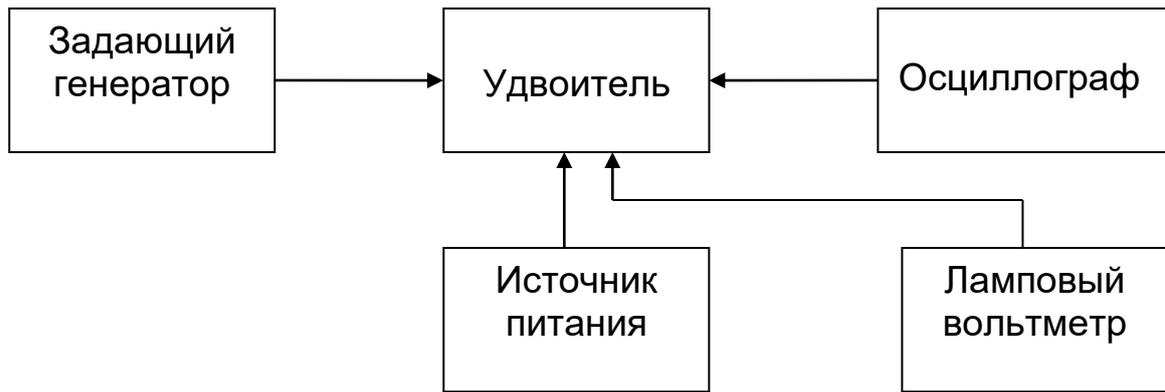


Рисунок – 6

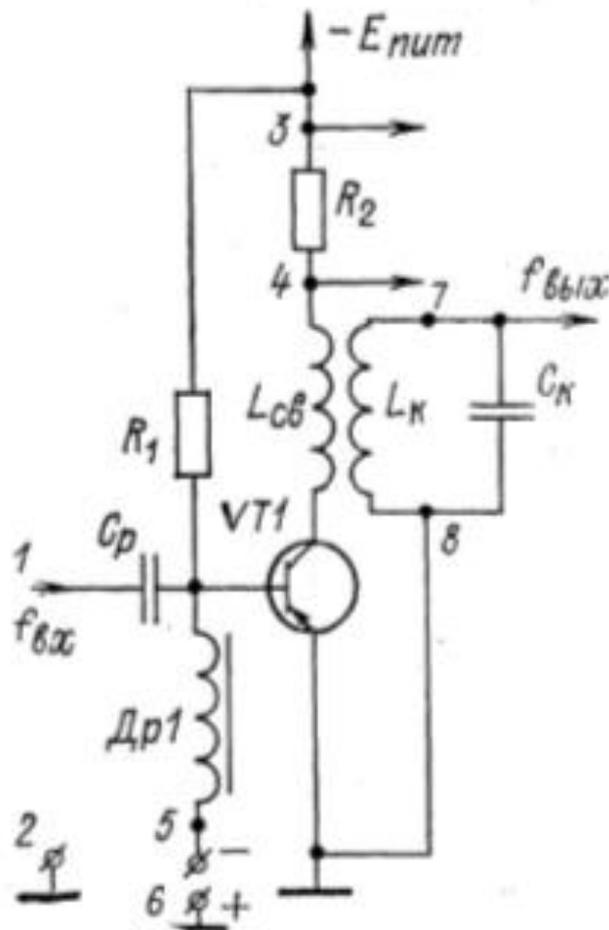


Рисунок – 7

6. Подключить осциллограф к выходу генератора сигналов (точки 1-2) и посмотреть форму напряжения возбуждения, подаваемого на вход удвоителя. Форму напряжения зарисовать на кальку и привести в отчете.

7. Подключить осциллограф к коллекторной цепи транзистора (точки 3-4). Подобрать напряжение смещения и амплитуду напряжения возбуждения так, чтобы угол отсечки отсчитать по масштабной линейке (сетке), имеющейся на экране осциллографа (рисунок – 8). Просмотреть осциллограмму коллекторного тока удвоителя и зарисовать ее на кальку под осциллограммой, полученной в п.6.

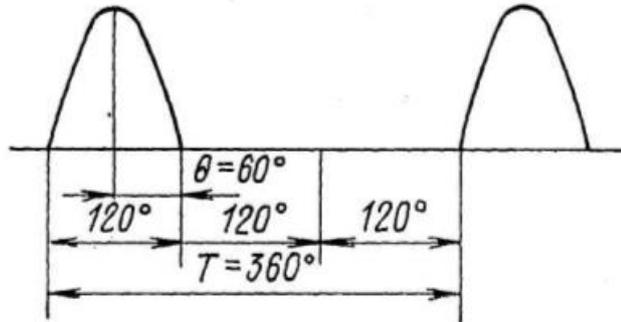


Рисунок – 8

8. Убедиться, что изменение напряжения смещения и амплитуды напряжения возбуждения приводит к изменению высоты импульса коллекторного тока и изменению угла отсечки. Зарисовать 2-3 осциллограммы импульса коллекторного тока удвоителя при разных значениях $E_{эб}$ и $U_{мб}$ под осциллограммой, полученной в п.7. Записать напряжения, при которых получены эти осциллограммы.

9. Подключить электронный вольтметр к контуру удвоителя (точки 7-8) и прибор для измерения напряжения смещения (точки 5-6), снять зависимость $U_{мк} = \varphi(E_{эб})$ при неизменном напряжении возбуждения. Показания приборов записать в таблицу и построить график.

10. Составить отчет о проделанной работе по установленной форме.

	1	2	3	4	5	6	7
$E_{эб}(В)$							
$U_{мк}(В)$							

Содержание отчета:

1. Электрическая принципиальная схема исследуемого каскада и краткое описание принципа действия.
2. Осциллограммы, на которых показано, как графически отсчитать угол отсечки.
3. Таблица.
4. График.

Вопросы для самоконтроля:

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.18/34

1. Дать характеристику исследуемой схемы (вид нагрузки, варианты схем питания всех электродов транзистора).
2. Что необходимо сделать в исследуемой схеме, если потребуется перейти из режима удвоения в режим утроения частоты?
3. Можно ли получить удвоение или утроение частоты в двухтактной схеме включения транзисторов? В случае положительного ответа приведите такие схемы.
4. Как объяснить физически, что при одинаковом угле отсечки к.п.д. в режиме удвоения ниже, чем в режиме усиления?
5. С каким углом отсечки должен работать удвоитель частоты, чтобы получить такой же к.п.д., как у усилителя при $\theta=90^\circ$, считая, что в обоих случаях величина ξ одинакова?
6. Каковы особенности умножителей частоты на транзисторах?

Практическое занятие №5. Исследование сложной схемы выходного каскада

Цель работы:

Приобретение навыков настройки сложной схемы выхода, исследование влияния связи с антенной на энергетику выходного каскада.

Время работы – 2 часа.

Количество курсантов, выполняющих работу – 2 человека.

Приборы и материалы:

1. Лабораторный макет радиопередатчика с блоком питания.
2. Электронный вольтметр.

Использованные источники: [1], [5].

Примечание. При отсутствии лабораторного макета радиопередатчика можно применить лабораторный макет сложной схемы выходного каскада с регулируемой связью с антенной, а в качестве задающего генератора можно применить генератор стандартных сигналов. Измерительные приборы для измерения токов I_{co} , I_{ao} , I_a должны быть расположены на передней панели лабораторного макета.

План работы:

1. Настройка сложной схемы выходного каскада и снятие настроечных характеристик.

2. Определение зависимости основных энергетических показателей выходного каскада от величины связи с антенной.

Краткие сведения из теории:

Схема выходного каскада, в которой между лампой и антенным контуром имеется промежуточный контур, называется сложной схемой выхода.

Для получения наибольшей мощности в антенне необходимо обеспечить согласование нагрузки с лампой и настроить контур в резонанс с частотой напряжения возбуждения. Резонанс достигается органами настройки антенного и промежуточного контуров, согласование – выбором связи между контурами.

Связь с антенной может быть трансформаторной, автотрансформаторной и емкостной; питание антенны – током и напряжением. Лучшей схемой считается та, которая обеспечивает меньшие потери в органах настройки и более высокую фильтрацию высших гармоник.

Порядок настройки сложной схемы выхода:

1. Связь между антенным и промежуточным контурами сделать минимальной или равной нулю.

2. Настроить промежуточный контур в резонанс с частотой напряжения возбуждения по минимальному значению I_{a0} и максимальному I_{c0} .

3. Увеличить связь между промежуточным и антенным контурами.

4. Настроить антенный контур в резонанс, добиваясь максимального тока в антенне I_A .

5. Увеличить связь между контурами до оптимальной и еще раз настроить антенный контур по максимальному току I_A . Максимальному току в антенне, а следовательно, и мощности, соответствует определенная величина связи. При избыточной связи ток в антенне уменьшается, хотя анодный ток растет. Поэтому антенный контур надо настраивать по максимальному току анода, так как последний все время увеличивается, чем создается опасность перегрузки лампы.

В результате подготовки учащиеся должны правильно отвечать на следующие вопросы:

1. Каковы достоинства и недостатки простой и сложной схем выхода?

2. Какие условия должны быть выполнены при настройке любой схемы выхода? Какими органами настройки эти условия выполняются в исследуемой схеме?

3. Как изменится режим простой схемы выхода при обрыве антенны, если в

исходном состоянии он был оптимальным?

4. Как изменится режим сложной схемы выхода при обрыве антенны, если в исходном состоянии он был оптимальным?

5. В каком порядке следует настраивать сложную схему выхода?

6. Что такое настроечная характеристика?

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с лабораторным макетом передатчика и измерительными приборами. Собрать лабораторную установку по структурной схеме, приведенной на рисунке - 4. Принципиальная схема исследуемого каскада приведена на рисунке - 5.

2. Пригласить преподавателя проверить собранную лабораторную установку. После проверки лабораторную установку можно включать под напряжение.

3. Настроить возбуждатель на частоту диапазона, указанную преподавателем. На эту же частоту настроить сложную схему выхода, соблюдая необходимый порядок настройки.

4. После окончания настройки записать показания приборов в среднюю строку таблицы 1.

5. Снять настроечные характеристики сложной схемы выхода: I_{co} , I_{a0} , $I_A = \varphi(f)$. Характеристики снять для области малых расстроек относительно резонансной частоты. Показания приборов записать в таблицу 1.

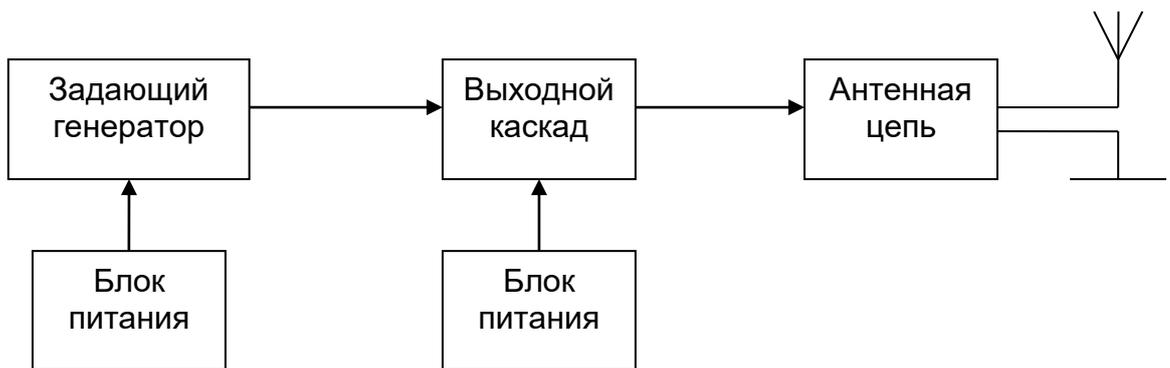


Рисунок – 4

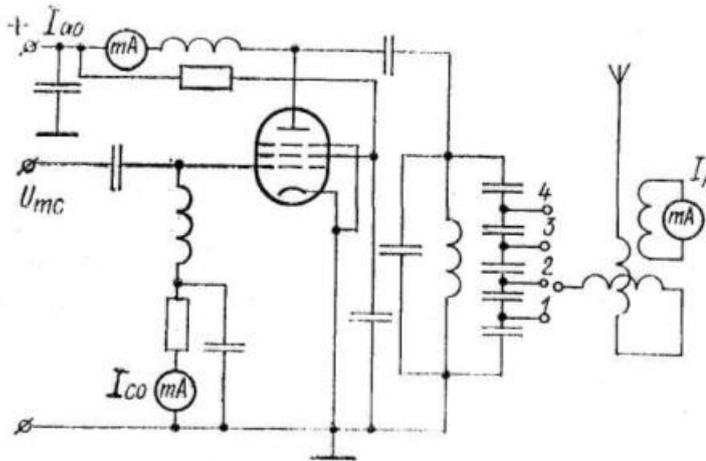


Рисунок – 5

Таблица 1

f	I _{co} (mA)	I _{ao} (mA)	I _A (mA)
f ₁ < f _{рез}			
f ₂ = f _{рез}			
f ₃ > f _{рез}			

6. Построить настроечные характеристики I_{co}, I_{ao}, U_A=φ(X_{св}) в одной системе координат.

7. Установить оптимальный режим сложной схемы выхода на частоте настройки возбуждителя и, изменяя связь между промежуточным и антенным контурами, снять зависимости I_A, U_A, I_{ao}= φ(X_{св}). Полученные данные записать в таблицу 2.

Таблица 2

X _{св}	I _A (mA)	I _{ao} (mA)	U _A (В)	P _A (Вт)
1				
2				
3				

8. Построить графики I_A, U_A, I_{ao}= φ(X_{св}) в одной системе координат и объяснить полученную закономерность.

9. На основании экспериментальных данных рассчитать мощность в антенне при всех значениях связи и по полученным расчетным данным построить график P_A= φ(X_{св}).

10. Составить отчет о проделанной работе по установленной форме.

Содержание отчета:

1. Схема исследуемого каскада с включенными измерительными приборами.
2. Последовательность настройки сложной схемы выхода.

3. Настрочные характеристики.
4. Таблицы измерений.
5. Выводы.

Вопросы для самоконтроля:

1. По схеме, приведенной в отчете, объяснить порядок настройки сложной схемы выхода.
2. Как может быть настроена сложная схема выхода при отсутствии амперметра в антенном контуре?
3. Объяснить зависимость P_A от связи между антенным и промежуточным контурами.
4. Почему изменяется I_{a0} с изменением связи между антенным и промежуточным контурами? Объяснить характер этих изменений.
5. Что называется нагрузочным параметром a и как от его величины зависит энергетика выходного каскада?
6. Сравнить все известные вам схемы выходного каскада по энергетическим показателям и способности фильтровать высшие гармоники.

**Раздел 3 Основы теории и расчет генераторов с самовозбуждением
(автогенераторов)****Тема 3.2 Схемы автогенераторов, их анализ и расчет****Практическое занятие № 6 Исследование трехточечной схемы транзисторного автогенератора****Цель работы:**

Исследование работы одноконтурного транзисторного автогенератора по трехточечной схеме.

Время работы – 2 часа.

Количество курсантов, выполняющих работу – 2 человека.

Приборы и материалы:

1. Лабораторный макет транзисторного автогенератора.
2. Источник питания напряжением 9 В.
3. Электронный вольтметр.

Использованные источники: [1].**План работы:**

1. Исследование влияния величины обратной связи на работу автогенератора. Определение оптимальной обратной связи.
2. Исследование влияния величины сопротивления нагрузки на работу автогенератора.

Краткие сведения из теории:

Транзисторные автогенераторы составляются по таким же правилам, как и ламповые схемы.

Баланс фаз выполняется при включении различных по характеру реактивных сопротивлений на участках база – коллектор и база – эмиттер. Баланс амплитуд выполняется при условии $Z_{кб} > Z_{эб}$. Настройка контура в резонанс будет обеспечена при условии

$$X_{бк} + X_{кэ} + X_{бэ} = 0$$

Транзисторные схемы автогенераторов легко возбуждаются по причине большого коэффициента усиления транзистора. Стабильность частоты транзисторных автогенераторов ниже, чем ламповых, из-за сильного влияния температуры на параметры транзистора, из-за зависимости емкости $p-n$ переходов

от напряжения на них, из-за влияния (проходной инерционности и по другим причинам. С увеличением частоты влияние этих факторов возрастает.

При самоподготовке учащийся должен уметь самостоятельно составлять различные схемы транзисторных автогенераторов: с трансформаторной обратной связью, по индуктивной трехточечной схеме, по емкостной трехточечной схеме. На примере этих схем нужно уметь объяснять физические процессы при самовозбуждении транзисторного автогенератора и свойства этих схем. Учащиеся должны правильно отвечать на следующие вопросы:

1. Какие схемы транзисторных автогенераторов вам известны?
2. По какой схеме собран автогенератор, исследуемый в данной лабораторной работе?
3. Каково назначение элементов в исследуемой схеме автогенератора?
4. Почему используется неполное включение контура автогенератора со стороны коллектора?

Порядок выполнения работы:

1. Изучить приведенную на рисунке - 12 принципиальную схему исследуемого автогенератора на транзисторе, возможные коммутации и регулировки в ней.
2. Получив разрешение преподавателя, включить лабораторный макет под напряжение.

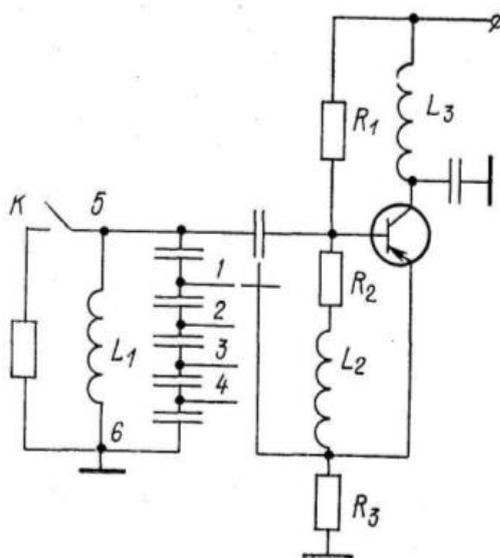


Рисунок – 12

3. Подключить электронный вольтметр к контуру автогенератора между точками 5 и 6. Измерить напряжение на контуре автогенератора при различных

значениях обратной связи. Связь изменять переключателем П1. Значение напряжений записать в таблицу 1.

Таблица 1

П1	1	2	3	4	5
U_{mk} (В)					

4. Включить сопротивление нагрузки параллельно контуру автогенератора. Измерить напряжение на контуре автогенератора при различных положениях переключателя П1. Показания электронного вольтметра записать в таблицу 2.

Таблица 2

П1								
U_{mk} (В)								

5. Сравнить данные таблиц 1 и 2, сделать выводы о влиянии сопротивления нагрузки на возбуждение автогенератора.

6. Отключить резистор R_3 . Измерить напряжение на контуре автогенератора. Сделать выводы о назначении этого резистора и его влиянии на самовозбуждение автогенератора.

7. Составить отчет о проделанной работе по установленной форме.

Вопросы по лабораторной работе № 4:

1. Каковы правила составления трехточечных транзисторных схем автогенераторов?

2. Какими свойствами характеризуются транзисторные автогенераторы?

3. Почему транзисторные автогенераторы характеризуются низкой стабильностью частоты?

4. Какой автогенератор легче возбудить: с нагруженным или ненагруженным контуром? Почему?

5. Объяснить влияние величины сопротивления резистора в цепи базы на режим автогенератора, пользуясь данными таблицы измерений.

6. Составить эквивалентные схемы автогенератора для положений 1, 2, 3, 4 переключателя П1. В чем различие этих схем?

**Тема 3.3 Стабилизация частоты автогенератора
Практическое занятие №7. Исследование стабильности частоты автогенератора**

Цель работы:

*Документ управляется программными средствами 1С: Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в 1С: Колледж*

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.26/34

Рассмотреть зависимость частоты автогенератора от времени его работы, стабильности питающих напряжений и величины обратной связи.

План работы:

1. Снять зависимость частоты автогенератора от температуры и питающих напряжений для колебательного контура с катушкой индуктивности
2. Снять зависимость частоты автогенератора от температуры и питающих напряжений для колебательного контура с «кварцем».

Приборы и материалы:

1. Лабораторный макет.
2. Осциллограф.
3. Частотомер.
4. Соединительные провода.

Использованные источники: [1], [2], [3].

Порядок выполнения работы:

1.Собрать исследуемую схему, подключив в контур автогенератора индуктивность (тумблер «кварц-катушка») на макете вниз в положение «катушка». Схема соединения рисунок – 1.

2. Ручка потенциометра, через который на коллектор генератора подаётся питающее напряжение, установить на заданную отметку.

3. Приготовить заранее заготовленную на черновике таблицу 1. После разрешения преподавателя включить частотомер, поставив время индикации.

4. Включить макет, и через равные промежутки времени, установленные на частотомере в предыдущем пункте, записывать значения фактической частоты генератора $f_{\text{факт}}$.

5. Определить абсолютный уход частоты:

$$\Delta f = f_{\text{ном}} - f_{\text{факт}}, \text{ где}$$

$f_{\text{ном}}$ кварца равна 11094 кГц,

$f_{\text{ном}}$ катушки равна 10975 кГц

Значения абсолютного ухода частоты занести в таблицу 1. По таблице 1 построить графики зависимости абсолютного ухода частоты от времени работы генератора.

6. Ручкой регулировки потенциометра на макете снять напряжение с коллектора генератора (на вольтметре, установленном на макете установить нулевое значение).

7. Снять зависимость частоты генератора от питающего напряжения, значения фактической частоты снимать по частотомеру, значения напряжения устанавливать ручкой потенциометра на макете. Результаты заносить в таблицу 2.

8. Рассчитать абсолютный уход частоты, значение занести в таблицу 2.

9. По таблице 2 построить графики зависимости абсолютного ухода частоты от величины коллекторного напряжения.

10. Повторить пункты 8 и 9 переключив тумблер «кварц-катушка» на макете в положение «кварц».

11. Выключить макет и в течение 10 минут заниматься оформлением отчёта.

12. По истечению 10 минут установить ручку регулятора коллекторного напряжения по значению в п. 6.

13. Повторить п. 4 и 5 для положения тумблера «кварц».

14. Оформить отчёт о проделанной работе.

В отчёте указать причины зависимости частоты от исследуемых величин, сравнив схему с «кварцем» со схемой с индуктивностью.

Таблица 1

Δt (сек)							
f (кГц)							
Δf							

$$\Delta f = f_{\text{вих}} - f_{\text{ном}}$$

$$f_{\text{ном кв}} = 11084 \text{ кГц}$$

$$f_{\text{ном L}} = 11095 \text{ кГц}$$

Таблица 2

$E_{\text{пит}}$ (В)							
$f_{\text{вих}}$ (кГц)							
Δf							

Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите дестабилизирующие факторы, обоснуйте их влияние на частоту автогенератора.

2. Нарисуйте эквивалентную схему кварца и сравните его добротность с добротностью колебательного LC-контура.

3. Какова зависимость реактивного и активного сопротивления кварца от

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.28/34

частоты?

4. Чем объяснить стабилизирующие свойства кварца?

Раздел 4 Возбудители радиопередатчиков.
Тема 4.1 Принцип построения возбудителей радиопередатчиков

Практическое занятие №8 Формирование частоты в судовых радиопередатчиках

Цель занятия:

1. Закрепление знаний по теме: «Принцип построения возбудителей радиопередатчиков.
2. Изучение принципа формирования частоты в унифицированных возбудителях судовых радиопередатчиков.

План занятия:

1. Изучить функциональную схему унифицированного возбудителя.
Выписать в отчёте, чем определяется выходная частота возбудителя, определив её через частоту генератора управляемого ГУ и частоту информации.
2. Проследить формирование частоты информации. В отчёте в упрощённом виде изобразить структурную схему тракта информации
3. Проследить формирование частоты в кольце ФАПЧ. В отчёте записать частоту ГУ, выразив её через преобразования в кольце ФАПЧ.
4. Проследить формирование частоты датчиком опорных частот ДОЧ. В отчёте начертить структурную схему ДОЧ в упрощённом виде. Все промежуточные преобразования частоты опорного генератора заключить в одном блоке – блоке формирования вспомогательных частот.
5. Проследить формирование частоты, в отчёте вычертить структурную схему декадного преобразователя в упрощённом виде.
6. Оформить отчёт. Сделать выводы, связав между собой формирование частоты по предыдущим пунктам.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите диапазоны КВ радиопередатчика. Назовите для них частоту информации.
2. Проследите частоту информации 46,2 МГц по тракту формирования частоты информации унифицированного возбудителя.
3. За счёт чего выделяемая в блоке ОС нижняя боковая полоса преобразуется в верхнюю? Как называется процесс преобразования?
4. Почему в ГУ для формирования частоты используется чётное количество варикапов? Как они включаются в схеме?

Раздел 5 Управление колебаниями радиочастоты
Тема 5.1 Управление колебаниями радиочастоты**Практическое занятие №9 Исследование схемы амплитудной модуляции****Цель работы:**

Исследование режима работы схемы коллекторной модуляции.

Время работы – 2 часа.

Количество курсантов, выполняющих работу – 2 человека.

Приборы и материалы:

1. Лабораторный макет транзисторного усилителя, модулируемого на коллектор.
2. Источник питания.
3. Возбудитель колебаний высокой частоты или генератор стандартных сигналов.
4. Генератор звуковой частоты.
5. Осциллограф или измеритель глубины модуляции.

Использованные источники: [1].**План работы:**

1. Снятие динамической частотной модуляционной характеристики $m=f(F)$ при $U_F=\text{const}$.
2. Снятие динамической амплитудной модуляционной характеристики $m=f(U_F)$ при $F=\text{const}$.

Краткие сведения из теории:

Коллекторную модуляцию осуществляют изменением напряжения питания коллекторной цепи транзистора, работающего в критическом, перенапряженном или ключевом режиме. Результирующее напряжение, прикладываемое к коллектору, изменяется по закону $E_k + U_F \cos \Omega t$.

Основные расчетные соотношения, определяющие энергетические показатели модулируемого каскада и модулятора, аналогичны расчетным соотношениям при анодной модуляции:

$$I_{k1} = I_{k1\omega} (1 + m \cos \Omega t),$$

$$E_{k \max} = E_{k\omega} (1 + m),$$

$$m = \frac{U_{\Omega}}{U_{k\omega}}$$

где

Номинальная мощность транзистора должна соответствовать мощности в максимальном режиме:

$$P_{\sim \text{ном}} = P_{1\text{max}}$$

Мощность, потребляемая от модулятора:

$$P_{\Omega} = 0,5 I_{\Omega} U_{\Omega} = 0,5 m^2 P_{0\omega},$$

$$P_{0\omega} = I_{k0\omega} E_{k\omega}$$

Для транзистора, из соображений надежности, опасны даже кратковременные превышения мгновенных значений напряжения $U_{кэ}$ и тока I_k по сравнению с максимально допустимыми. Поэтому номинальная мощность транзистора должна соответствовать мощности в максимальном режиме:

$$P_{1\omega} = P_{1\text{max}}, E_{кном} = E_{к\text{max}}$$

К достоинствам коллекторной модуляции относится возможность получения линейной модуляционной характеристики при высоком к.п.д.

В результате подготовки к лабораторной работе курсанты должны уметь отвечать на следующие вопросы:

1. Что такое амплитудная динамическая модуляционная характеристика?
2. Что такое частотная динамическая модуляционная характеристика?
3. Какими искажениями может сопровождаться модуляция?
4. Причины появления искажений при модуляции.

Порядок выполнения работы:

1. Собрать лабораторную установку по схеме, приведенной на рисунке – 17. Ознакомиться с принципиальной схемой модулируемого каскада.
2. Пригласить преподавателя проверить схему.
3. Получив разрешение преподавателя, подключить лабораторную установку под напряжение.
4. Настроить генератор звуковой частоты на $F=1000$ Гц.
5. Генератор стандартных сигналов настроить на заданную преподавателем частоту. Напряжение снять с гнезда 1 В.
6. Настроить ГСС и модулируемый каскад в резонанс.

7. Изменяя выходное напряжение генератора звуковой частоты, снять амплитудную модуляционную характеристику. Результаты измерений записать в таблицу 1.

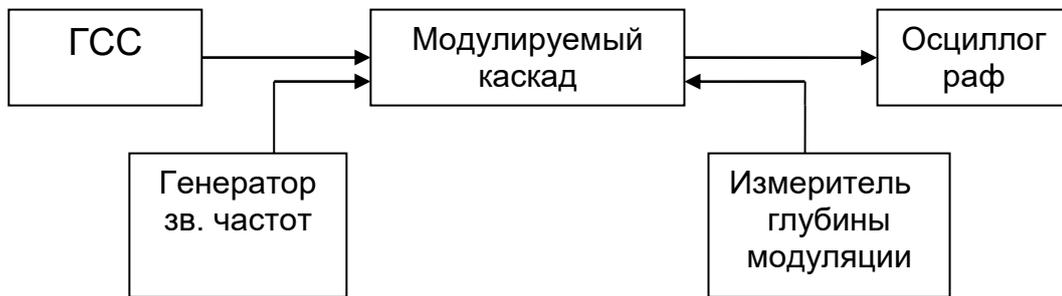


Рисунок – 17

Таблица 1

U_F (В)							
m (%)							

8. Построить график $m=f(U_F)$. По графику определить линейный участок зависимости $m=f(U_F)$. Определить U_F , соответствующее средней точке линейного участка.

9. Изменяя частоту генератора звуковой частоты от 50 Гц до 10 кГц, снять динамическую частотную характеристику при $U_F=const$, определенном в п.8. Результаты измерений записать в таблицу 2.

Таблица 2

F (Гц)							
m (%)							

10. Построить график $m=f(F)$ в логарифмическом масштабе. По графику определить интервал звуковых частот, где отсутствуют частотные искажения.

11. Составить отчет о проделанной работе по установленной форме.

Содержание отчета:

1. Структурная схема лабораторной установки.
2. Принципиальная схема исследуемого каскада.
3. Таблица измерений.
4. Краткое содержание работы.
5. Графики.
6. Выводы.

Вопросы для самоконтроля:

МО-11 02 03-ОП.11.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	С.33/34

1. В чем заключается сходство и различие коллекторной и анодной модуляций?
2. Какими энергетическими показателями характеризуется коллекторная модуляция?
3. В чем преимущество коллекторной модуляции перед модуляцией смещением и возбуждением?
4. На какую мощность надо выбрать транзистор при коллекторной модуляции, если $P_{\text{н}}=2$ Вт, $m=0,7$?

Используемые источники литературы

Виды источников	Наименование рекомендуемых учебных изданий
Основные	Радиопередающие устройства в системах радиосвязи : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов [и др.]. - 5-е изд. - Санкт-Петербург : Лань, 2021.
Дополнительные , в т.ч. курс лекций по учебной дисциплине, методические пособия и рекомендации для выполнения практических занятий и самостоятельных работ	Каганов В.И. Радиопередающие устройства. – М.:ИРПО: Издательский центр «Академия», 2002
	Радиопередающие устройства. Учебник. Л. Клягин, В. Козырев 2010
	Ельцов А.К. Радиопередающие устройства. Лекции. 2010
	Рамлау П.Н. Радиопередающие устройства. Лекции. 2012
	Шахгильдян В.В. Радиопередающие устройства. 2003г,
Электронные образовательные ресурсы	ЭБС «Book.ru», https://www.book.ru ЭБС «ЮРАЙТ» https://www.biblio-online.ru ЭБС «Академия», https://www.academia-moscow.ru Издательство «Лань», https://e.lanbook.com Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн», https://www.biblioclub.ru
Периодические издания	Журнал «Радио»; Журнал «Эксплуатация морского транспорта»; Журнал «Морские вести России»; Журнал «Морской Флот»; Журнал «Стандарты и качество». Научно-технический сборник российского морского регистра судоходства.