

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)**

**АРХАНГЕЛЬСКИЙ КОЛЛЕДЖ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
ИМ. Б. Л. РОЗИНГА (ФИЛИАЛ) СПбГУТ  
(АКТ (ф) СПбГУТ)**

**Составил  
В.В. Пономарёв**

**МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания  
средств систем радиосвязи**

**Тема 1.2 Радиопередающие устройства**

**Сборник описаний лабораторных работ**

Архангельск 2021

МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания средств систем радиосвязи Тема 1.2 Радиопередающие устройства. Сборник описаний лабораторных работ. Составил В.В. Пономарев. - Архангельск, 2021.

Сборник описаний лабораторных работ по теме 1.2 Радиопередающие устройства. Каждая работа рассчитана на 2 часа. Общий объем лабораторных работ составляет 14 часов. Нумерация рисунков, таблиц и формул производится в пределах описания каждой лабораторной работы. Сборник предназначен для студентов очной и заочной форм обучения по специальности 11.02.10 Радиосвязь, радиовещание и телевидение

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии РС, РВ и ТВ, ЭСС Архангельского колледжа телекоммуникаций им. Б.Л. Розинга (филиал) СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч-Бруевича.

© Архангельский колледж телекоммуникаций им. Б.Л. Розинга (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича»

## Содержание

Лабораторная работа № 1 Изучение и настройка радиопередающего устройства «Волхов»	4
Лабораторная работа № 2 Исследование оконечного каскада радиопередающего устройства «Волхов»	12
Лабораторная работа № 3 Исследование автогенератора радиопередающего устройства «Волхов»	17
Лабораторная работа № 4 Изучение возбудителя «БОТ» радиопередающего устройства с однополосной модуляцией «Корвет»	22
Лабораторная работа № 5 Исследование оконечного каскада радиопередающего устройства «Волхов» с АМ на выходной электрод	31
Лабораторная работа № 6 Изучение радиопередающего устройства «Корвет» в однополосной модуляцией	36
Лабораторная работа № 7 Изучение системы УБС радиопередающего устройства «Корвет». Включение и настройка.	42
Лабораторная работа № 8 Исследование состава и параметров оборудования радиостанции космической связи «Орбита»	50

# Лабораторная работа № 1

## Изучение и настройка радиопередающего устройства «Волхов»

### 1 Цель работы

1.1 Изучить конструкцию радиопередающего устройства, научиться включать и настраивать его.

### 2 Литература

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи: учебное пособие для СПО/ Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 176 с.– Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148034/#1>

### 3 Подготовка к работе

3.1 Ознакомиться с заданием.

3.2 Подготовить бланк отчета.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 Назначение системы управления, блокировки и сигнализации (УБС) в радиопередающем устройстве.

3.3.2 Назначение буферного каскада в радиочастотном тракте.

3.3.3 Какой вид нагрузочной системы в оконечном каскаде радиопередающего устройства большой мощности?

3.3.4 Какой режим по напряженности наиболее выгоден?

### 4 Основное оборудование

4.1 Радиопередающее устройство «Волхов».

### 5 Задание

5.1 Ознакомиться с конструкцией передатчика, расположением ручек управления и настройки, измерительными приборами (приложение 9).

5.2 Измерить данный режим работы оконечного каскада.

### 6 Порядок проведения работы

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 По разрешению преподавателя включить радиопередающее устройство и настроить его на заданную частоту.

6.3 Измерения проделать для 3-х частот передатчика. Записать данные полученного режима в таблицу 1 для оконечного каскада радиочастотного тракта радиопередающего устройства.

Таблица 1

Лампа ГУ-81	Данные режима					
	$E_a, В$	$E_{c2}, В$	$I_{a0}, мА$	$I_{c2}, мА$	$I_{c2}/I_{a0}$	Режим (кр, нр, пр.)
$f = 410 \text{ кГц}$						
$f = 420 \text{ кГц}$						
$f = 450 \text{ кГц}$						

6.4 По разрешению преподавателя выключить радиопередатчик.

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Структурная схема РПДУ с указанием назначения каскадов.

7.5 Технические характеристики радиопередатчика.

7.6 Таблицы измерений.

7.7 Выводы по работе.

7.8 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Для чего применяются режимы с отсечкой анодного тока?

8.2 Какие режимы по напряженности бывают у генераторов?

8.3 Как практически определить напряженность режима в генераторе (для триода и пентода)?

8.4 Почему мощные генераторы настраивают при пониженных  $E_a$ ?

8.5 Какой угол отсечки в режиме В; С; АВ?

## 9 Приложение

### 9.1 Необходимость последовательности включения и настройки радиопередатчика

Радиопередающие устройства, имеющие большую и среднюю мощность, оборудуются системой управления, блокировки и сигнализации, которая задает определенный порядок включения и настройки.

Принудительная последовательность включения радиопередающего устройства необходима для предупреждения выхода из строя передатчика от неправильной эксплуатации. Радиопередающее устройство большой и средней мощности, как правило, имеют мощные лампы с принудительным охлаждением, поэтому необходимо, прежде всего, включать систему принудительного охлаждения. После этого постепенно подать напряжение накала на мощные гене-

раторные лампы, которые имеют отдельные накальные трансформаторы. Необходимость постепенной подачи напряжения накала вызвана особенностями конструкции катодов мощных генераторных ламп, в которых применяют массивные активированные катоды типа ТКВ (тарированные, карбидированные, вольфрамовые). Коэффициент линейного расширения вольфрама и активированной пленки карбида вольфрама различны и при включении лампы сразу под полное напряжение накала привело бы к разрушению пленки из-за более быстрого прогрева вольфрамовой основы катода. Для регулирования тока накала применяют специальные пусковые реостаты, регулировочные потенциал-регуляторы или автотрансформаторы. Время прогрева зависит от мощности генераторных ламп и может составлять от нескольких минут до нескольких часов. После прогрева катода включается напряжение смещения на первые сетки ламп, напряжение питания маломощных каскадов подается возбуждением на мощные каскады.

При настройке мощных генераторов нельзя подавать полное напряжение, так как контуры передатчика могут быть сильно расстроены, а режим работы сильно недонапряженным, что может вызвать перегрев анодов мощных генераторных ламп, поэтому настройку мощных каскадов радиопередатчика производят при половинном напряжении на аноде. После включения половинного напряжения на анод, включается напряжение на экранную сетку и производится настройка колебательного контура генератора. О настройке в резонанс данного генератора (каскада) судят по минимальному показанию анодного или катодного тока. Сеточные токи этого каскада при этом будут максимальными.

После настройки контуров в резонанс включают полное анодное напряжение и производят подбор оптимальной связи генератора с внешней нагрузкой, при которой режим генератора будет близким к критическому. Особенно это важно для оконечного каскада радиопередатчика, имеющего наибольшую мощность из всех каскадов и обеспечивающего получение заданной мощности радиопередатчика и основных энергетических показателей радиопередатчика. Режим, близкий к критическому, получается при соотношении токов: для триодов по формуле

$$\frac{I_{C0}}{I_{a0}} = 0,1 \div 0,2 \quad (1)$$

Для тетродов и пентодов по формуле

$$\frac{I_{C2}}{I_{a0}} = 0,2 \div 0,3 \quad (2)$$

## 9.2 Технические характеристики радиопередатчика «Волхов»

Радиопередающее устройство представляет собой судовой радиопередатчик промышленного производства типа «Волхов», приспособленный для проведения лабораторных работ по теме 1.2 «Радиопередающие устройства»:

- диапазон рабочих частот 400-535 кГц. Восемь рабочих частот 410, 425, 448, 454, 468, 480, 500, 512 кГц – фиксированные;
- относительная нестабильность частоты: на фиксированной частоте 0,075%, на плавном диапазоне 0,1%;
- стабилизация частоты – параметрическая;
- режимы работы:
  - A1A – амплитудная телеграфия;
  - A2A – амплитудная телеграфия тонально-модулированными посылками с частотами тонов 600, 800, 1000 Гц. Схема модуляции – анодно-экранная;
  - A3E – 2-х полосная телефония с амплитудной модуляцией;
- колебательная мощность, отдаваемая радиопередатчиком в антенну в режиме A1A, A2A – 300 Вт. Она может регулироваться ступенчато-25%, 50%, 75% и 100% от номинальной;
- питание радиопередатчика от сети трехфазного тока 220/380 В;
- допустимое колебание напряжения сети 10%; частоты 5%;
- потребляемая мощность от сети 2,2 кВт;
- система охлаждения – естественная воздушная.
- радиопередатчик обеспечивает работу на несимметричный Т-или Г-образный вибратор.
- радиопередатчик имеет эквивалент антенны с емкостью 440 пФ и сопротивлением 2,2 Ом.

## 9.3 Описание конструкции радиопередатчика «Волхов»

9.3.1 Радиопередатчик состоит из металлического каркасного шкафа, в котором устанавливается 6 блоков:

- 1 Блок питания БП – 19 М (нижний слева);
- 2 Блок питания БП – 20 М (нижний справа);
- 3 Блок управления БУ – 14 М (средний слева);
- 4 Блок модулятора БМ – 1 М (средний справа);
- 5 Генераторный блок БГ – 3 М (верхний справа);
- 6 Антенный блок БА – 3 М (верхний слева).

Антенна подключается к антенному блоку через изолятор, установленный в верхней части передатчика.

Все блоки выдвижные. Для полного выдвижения блоков необходимо нажать специальные защелки на основании блоков.

9.3.2 В блоке питания БП – 19 М размещены следующие узлы:

- трансформатор выпрямителя анода выходного каскада и выпрямителей экранных сеток;
- конденсаторы фильтра выпрямителя анода;

– блок кремниевых столбов выпрямителя анода выходного каскада.

В блоке питания БП – 20 М размещены:

– стабилизатор напряжения для питания задающего генератора (Еа и Ес);

– трансформатор накала генератора;

– трансформатор малых выпрямителей;

– фильтры выпрямителей экранных сеток, выпрямителей анодов промежуточных каскадов и выпрямителя смещения.

Тут же находятся кремниевые столбы выпрямителей и селеновый выпрямитель цепи управления 26 В.

9.3.3 В блоке управления находятся элементы коммутации высокого анодного напряжения, выбора рода работы, переключатель мощности. В верхней части блока находятся приборы для измерения питающих напряжений и токов анодов лампы генераторного блока.

Выключатель высокого напряжения имеет механическую блокировку, не позволяющую переключать переключатели регулировки мощности и рода работ при включенном высоком напряжении.

В блоке управления размещены узлы:

– дроссель фильтра выпрямителя анода выходного каскада;

– потенциометр сеточного смещения;

– контактор высокого напряжения;

– блок реле перегрузок.

9.3.4 В блоке модулятора размещены:

– подмодулятор;

– переключатель рода работ;

– выпрямитель анода подмодулятора;

– трансформатор накала модулятора;

– выходной каскад модулятора с модуляционным трансформатором.

9.3.5 В генераторном блоке размещены все каскады радиочастотного тракта:

– автогенератор;

– буферный каскад;

– промежуточный усилитель;

– оконечный каскад (усилитель мощности).

В верхней части генераторного блока находятся лампа выходного каскада и его колебательная система. Все остальные каскады расположены в нижней части. Такое расположение уменьшает влияние мощного каскада на маломощные. Колебательные системы автогенератора и промежуточного усилителя экранированы.

Настройка всех колебательных контуров генераторного блока сопряжена механически и осуществляется одной ручкой.

На блоке установлены измерительные приборы, предназначенные для измерений при выполнении лабораторных работ. Переключатель над ними служит для коммутации схем модуляции анодно-экранный и катодной в выходном каскаде.



9.3.6 Антенный блок также разделен на два отделения. В нижнем отделении находится вариометр настройки, помещенный в медный экран. В верхнем отделении находятся переключатели индуктивности, переключатель антенны и эквивалента антенны, удлинительная катушка, измеритель глубины модуляции и эквивалент антенны.

#### 9.4 Структурная схема радиопередатчика

Радиочастотный тракт (РЧТ) радиопередатчика, рисунок 1, помещен в генераторном блоке и содержит автогенератор плавного диапазона, вырабатывающий маломощные радиочастотные колебания в диапазоне от 400 до 535 кГц.

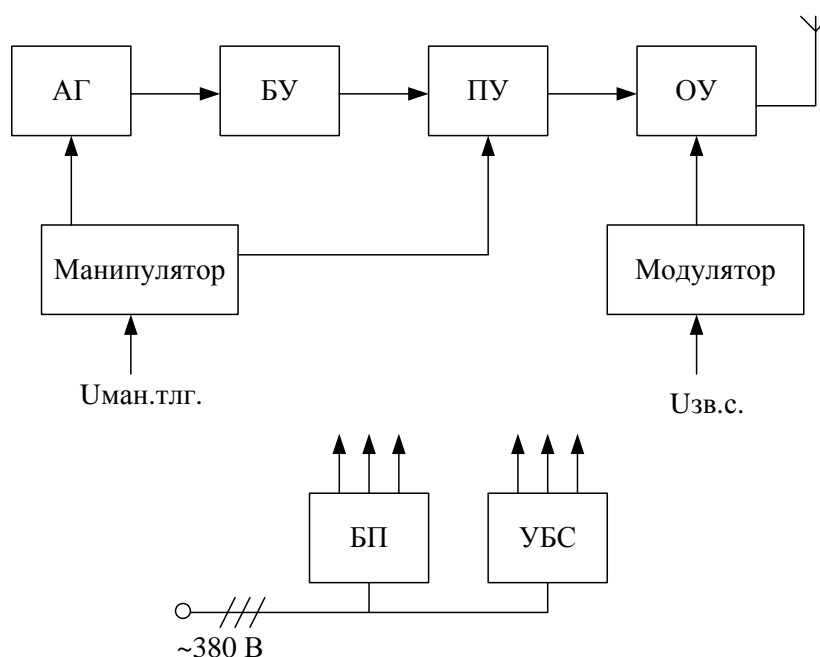


Рисунок 1 – РЧТ радиопередатчика «Волхов».  
Схема электрическая структурная

Шкала автогенератора корректируется при помощи кварцевого калибратора, имеющего эталонный кварцевый автогенератор с высокой стабильностью частоты ( $10^{-5}$ ). Радиочастотный тракт состоит из четырех каскадов, собранных на лампах.

Автогенератор (АГ) собран по схеме с электронной связью на пентоде 6Ж1П. АГ является первоисточником радиочастотных колебаний. Нагрузкой служит ВЧ дроссель.

Буферный усилитель (БУ) на ВЧ пентоде 6Ж5П, апериодический: нагрузкой служит ВЧ дроссель. БУ обеспечивает усиление и защиту автогенератора от более мощных каскадов (устраняет влияние следующих каскадов на АГ).

Промежуточный резонансный усилитель (ПУ) собран на пентоде ГУ-50 с общим катодом. В качестве нагрузки резонансный параллельный контур. ПУ обеспечивает усиление радиочастотных колебаний до величины достаточной для возбуждения оконечного каскада.

Оконечный усилитель (ОУ) собран на пентоде ГУ-81М с общим катодом. Нагрузкой усилителя является резонансная колебательная система, состоящая на двух связанных контурах (анодного и антенного). Обеспечивает заданную мощность в нагрузке (антенне или связанном с нею фидере), согласование с нею, фильтрацию внеполосных излучений.

Манипуляция в телеграфном режиме А1А осуществляется запирающим и отпиранием двух каскадов РЧ тракта при помощи телеграфного ключа.

В режиме А2А к оконечному каскаду подключается дополнительно модулятор, модулирующий РЧ посылки тональными частотами 600, 800 и 1000 Гц. Схема модуляции анодно-экранная.

В режиме А3Е к РЧ тракту подключается только модулятор, на вход которого подаются сигналы с микрофона. Модуляционное устройство предназначено для усиления информационного сигнала от относительно низкого уровня (0 дБ) до значений, обеспечивающих нормальное управление одним из параметров РЧ колебаний.

Кварцевый калибратор выполнен в виде отдельного съемного блока, установленного в генераторном блоке. Он служит для калибровки частоты автогенератора методом нулевых биений, прослушиваемых в телефоне.

Блок питания обеспечивает получение всех питающих напряжений передатчика.

## **9.5 Порядок включения и настройки радиопередатчика**

9.5.1 Проверить установку всех блоков в корпусе радиопередатчика. Они должны быть задвинуты до отказа, крепежные винты закручены.

9.5.2 Переключатель «антенна-эквивалент» должен быть расположен в положении «эквивалент».

9.5.3 Проверить наличие напряжений на радиопередатчике. Для этого на блоке управления переключатель вольтметра «напряжение» поставить в положение «50 Гц» и переключателем напряжения сети проверить напряжение трех фаз сети.

9.5.4 Переключатель «род работ» поставить в положение «А1».

9.5.5 Включить автомат защиты (АЭС) на блоке БП-20М (нижний справа) в положение «вкл.»

9.5.6 Переключатель «связь с антенной» в генераторном блоке поставить на 0.

9.5.7 Выключатель «аварийный» на генераторном блоке поставить в положение «вкл.»

9.5.8 Переключатель мощности в положение «25%».

9.5.9 Переключатель «сеть 220/380» на блоке БП-19М (нижний слева) поставить в положение «вкл.». При этом на передней панели генераторного блока загорается лампочка «готовность» (через 10 секунд).

9.5.10 Переключатель «фиксированная частота» на генераторном блоке поставить в положение «ПД» (плавный диапазон).

9.5.11 Установить заданную частоту, предварительно отпустив стопор шкалы.

9.5.12 Выключатель «высокое напряжение» в положение «вкл.». При этом на блоке генератора должны загореться три каскадные сигнальные лампочки, а вольтметр «напряжение анода выходного каскада» должен показать +1000 В.

9.5.13 Пользуясь переключателем вольтметра «напряжение» (блок БУ-14М), проверить напряжение всех выпрямителей.

9.5.14 Нажать ключ на генераторном блоке и убедиться, что ток анода выходного каскада на приборе блока управления показывает не более 50-100 мА.

9.5.15 Установить связь с антенной при помощи ручки на генераторном блоке «связь с нагрузкой» в положение 3.

9.5.16 Нажать ключ и настроить антенный контур по максимальному отклонению стрелки прибора «ток антенны» (в антенном блоке).

9.5.17 Ручкой «связь с антенной» переключить переключатель в такое положение, при котором ток в антенне будет максимальный. При этом каждый раз необходимо подстраивать антенный контур.

9.5.18 Держать ключ нажатым в течение 3-40 сек. и наблюдать за цветом анода. Цвет его при нормальном режиме должен быть темно-вишневый. Более яркое свечение анода говорит о большой мощности тепловых потерь на аноде, в этом случае необходимо уменьшить связь с антенной.

9.5.19 Выключение радиопередатчика производится в обратном порядке.

## **Лабораторная работа № 2**

### **Исследование оконечного каскада радиопередающего устройства «Волхов»**

#### **1 Цель работы**

1.1 Приобрести практические навыки по настройке нагрузочной системы (НС) радиопередатчика, исследовать влияние степени связи на напряженность режима генератора с внешним возбуждением (ГВВ).

#### **2 Литература**

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи: учебное пособие для СПО/ Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 176 с.– Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148034/#1>

#### **3 Подготовка к работе**

- 3.1 Ознакомиться с заданием.
- 3.2 Подготовить бланк отчета.
- 3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:
  - 3.3.1 Почему выходные каскады строят по сложной схеме?
  - 3.3.2 Как изменяется резонансное эквивалентное сопротивление контура при изменении связи с антенным контуром?
  - 3.3.3 Какой режим по напряженности оптимальный?
  - 3.3.4 Какой ток анода в общем проводе должен быть в момент резонанса?

#### **4 Основное оборудование**

4.1 Радиопередающее устройство «Волхов».

#### **5 Задание**

- 5.1 Изучить схему выходного каскада радиопередатчика «Волхов» (приложение 9).
- 5.2 Научиться настраивать резонансную нагрузочную систему (НС) оконечного каскада.
- 5.3 Исследовать влияние коэффициента связи на напряженность режима ГВВ.

#### **6 Порядок проведения работы**

- 6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.
- 6.2 Включить радиопередатчик и настроить его на заданную частоту при 25% мощности, при нулевом положении ручки «Связь» в режиме А1А.
- 6.3 Изменяя положение ручки «Связь» от 0 до 11, каждый раз настраивать антенный контур в резонанс, записать показания токов  $I_{a0}$ ,  $I_{c2}$  оконечного каскада. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

СВЯЗЬ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
L <sub>св.</sub> мкГн	0	4,2	5	6	7	9	11	12	14	16	20	25
X <sub>св.</sub> Ом												
I <sub>a0</sub> , мА												
I <sub>с2</sub> , мА												
I <sub>с2</sub> /I <sub>a0</sub>												
Режим (кр, нр, пр.)												

6.4 Показать результаты преподавателю и выключить радиопередатчик.

6.5 Построить графики зависимостей:  $I_{a0} = f(X_{св})$ ;  $I_{с2} = f(X_{св})$ .

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Схема выходного каскада радиопередатчика.

7.5 Таблицы измерений.

7.6 Графики.

7.7 Выводы по работе.

7.8 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Как повлияет на режим работы и на показания приборов тока каскада расстройка анодного контура?

8.2 Что произойдет при обрыве цепи питания анода или экранирующей сетки?

8.3 Почему после изменения связи между контурами выходного каскада требуется подстройка антенного контура?

8.4 Для чего в оконечных каскадах применяют режимы с отсечкой анодного тока?

8.5 Чем определяется выбор угла отсечки анодного тока?

## 9 Приложение

### 9.1 Оконечные каскады радиопередающих устройств

Оконечные каскады (ОК) радиопередающих устройств обеспечивают получение заданной мощности во всех обусловленных режимах работы и высокий коэффициент полезного действия (КПД), подавление высших гармоник, со-

гласование выхода РПУ с фидером В ламповых ОК чаще всего применяют сложную РНС, что бы получить выше КПД и подавление высших гармоник. Поэтому оконечные каскады работают всегда с отсечкой выходного тока и чаще всего в режиме В. При изменении напряжения смещения, изменяется угол отсечки и режим работы по роду колебаний. От угла отсечки зависят энергетические показатели ГВВ и качество усиления радиосигналов. Чем меньше угол отсечки, тем выше КПД, но уменьшается мощность ГВВ. Кроме того оконечные каскады должны обеспечивать подавление внеполосных излучений до требуемого ГОСТом уровня. Оконечные каскады могут строиться на генераторных лампах, биполярных транзисторах или приборах со скоростной модуляцией.

В ламповых оконечных каскадах почти всегда применяют сложные (РНС), которые позволяют получить высокий КПД оконечного каскада и хорошо подавляют внеполосные излучения. Коэффициент фильтрации РНС зависит от добротности контуров и их количества.

Чтобы получить хорошие энергетические показатели  $P_{\sim}$ , КПД в оконечном каскаде, он должен работать в оптимальном режиме по напряженности, близком к критическому.

Напряженность режима определяют по соотношению постоянных токов сетки и анода. Для триодов критический режим получается при соотношении токов по формуле

$$\frac{I_{C0}}{I_{a0}} = 0,1 \div 0,2 \quad (1)$$

Для тетродов и пентодов при соотношении по формуле

$$\frac{I_{C2}}{I_{a0}} = 0,2 \div 0,3 \quad (2)$$

Напряженность режима зависит от питающих напряжений, а также от сопротивления нагрузочной системы. Сопротивление нагрузочной системы регулируют, изменяя вносимое сопротивление путем регулировки коэффициента связи с нагрузкой, формула (3). При увеличении коэффициента связи возрастает вносимое сопротивление в контур, уменьшается разностное сопротивление контура и напряженность режима уменьшается. Уменьшение коэффициента связи, наоборот, увеличивает напряженность режима.

$$R_{\text{Э}} = \frac{L_{\text{К}}}{C_{\text{К}}(r_{\text{ВН}} + r_{\text{Х}})} \quad (3)$$

где  $L_{\text{К}}$  и  $C_{\text{К}}$  – параметры контура;  
 $r_{\text{ВН}}$  – вносимое сопротивление;  
 $r_{\text{Х}}$  – сопротивление потерь.

## 9.2 Описание выходного каскада радиопередатчика «Волхов»

Выходной каскад (рисунок 1) собран на пентоде ГУ-81 по резонансной схеме. Резонансная нагрузочная система состоит из параллельного анодного контура L5 – C10 – C11 – L6 и связанного с ним антенного контура L7 – L8 – L9 – L10 – C12. Связь между контурами автотрансформаторная через индуктивность L7. Питание анода осуществляется по параллельной схеме от выпрямителя +1500 В через блокировочные дроссели L3, L4, C8 – блокировочный конденсатор, C9 – разделительный. Напряжение возбуждения на 1 сетку подается через разделительную емкость C1 и антипаразитную цепочку L2 R2, L1 и C3 – блокировочный фильтр в цепи смещения. Напряжение смещения подается с делителя в блоке управления через резистор R1 и блокировочный дроссель L1. Питание экранной сетки осуществляется от отдельного выпрямителя +600 В через блокировочный резистор R3. Цепь накала по РЧ току заблокирована C4 – C5. Антенный контур окончного каскада связан с анодным контуром через элемент связи в виде переменной индуктивности L6, индуктивность которой изменяется ступенчато переключателем S1 на 11 положений. Для настройки антенного контура используется вариометр L8 и две катушки индуктивности L9 и L10 с переключателем S2. Настройка контролируется по термоамперметру и неоновой лампочке, L7 служит для шунтирования антенного контура по току НЧ, появляющемуся при работе в режиме А2, а также для утечки атмосферных зарядов с антенны. Для настройки и проверки передатчика в антенном блоке установлен эквивалент из R4 и C12.

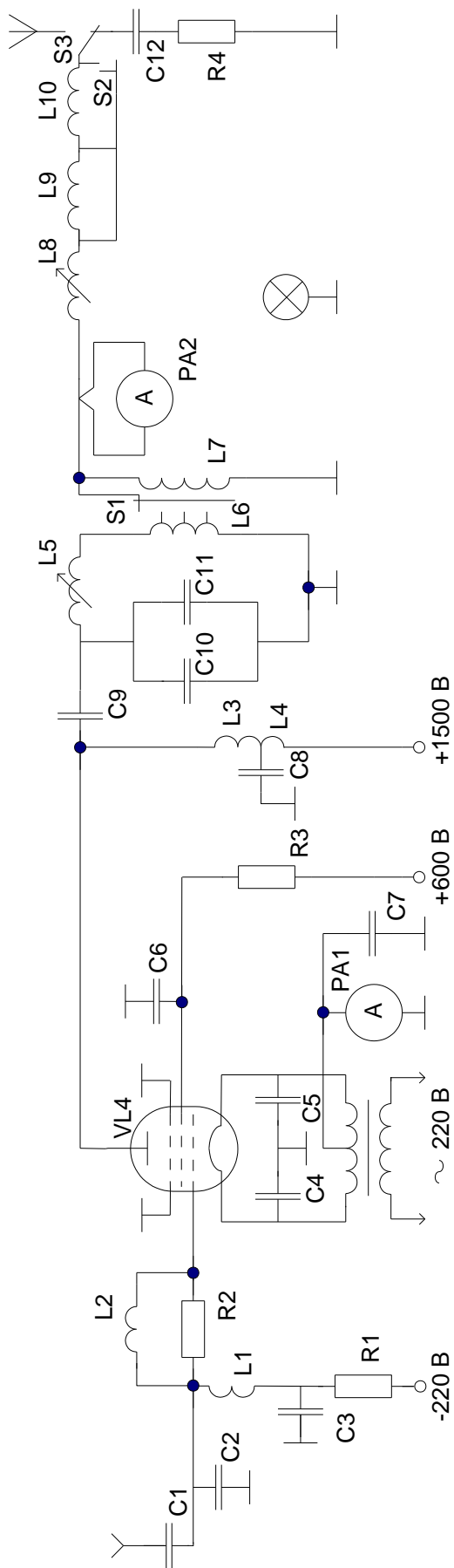


Рисунок 1 – Выходной каскад учебного РПДУ. Схема электрическая принципиальная



# **Лабораторная работа № 3**

## **Исследование автогенератора радиопередающего устройства «Волхов»**

### **1 Цель работы**

1.1 Определить влияние дестабилизирующих факторов на стабильность частоты автогенератора (температуры, питающих напряжений).

### **2 Литература**

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи: учебное пособие для СПО/ Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 176 с.– Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148034/#1>

### **3 Подготовка к работе**

3.1 Ознакомиться с заданием.

3.2 Подготовить бланк отчета.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 Какие кварцевые генераторы могут работать до частот 20-25 МГц?

3.3.2 Какие генераторы работают на принципе компенсации паразитной емкости кварцедержателя?

3.3.3 Каков характер сопротивления кварцевого резонатора в цепи обратной связи?

3.3.4 Какого порядка максимальная добротность кварцевого резонатора?

### **4 Основное оборудование**

4.1 Радиопередающее устройство «Волхов».

4.2 Электронный частотомер ЧЗ-44.

### **5 Задание**

5.1 Изучить схему автогенератора (АГ) радиопередающего устройства (приложение 9).

5.2 Исследовать влияние дестабилизирующих факторов (температуры, питающих напряжений) на стабильность частоты автогенератора.

### **6 Порядок проведения работы**

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 Включить радиопередатчик и настроить его в режиме А1А на 25% выходной мощности.

6.3 Подключить частотомер к передатчику и измерить частоты в 8 точках, соответствующих частотам радиопередатчика. Полученные результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1

$f_{\text{ГЕН.}}$ кГц	410	425	445	455	465	480	500	515
$f_{\text{ГЕН.ХОЛ.}}$ кГц								
$f_{\text{ГЕН.ГОР.}}$ кГц								
$\Delta_{\text{ХОЛ.}}$ кГц								
$\Delta_{\text{ГОР.}}$ кГц								
$\delta_{\text{ХОЛ.}}$ %								
$\delta_{\text{ГОР.}}$ %								

6.5 Через 45 минут после первых измерений вновь измерить частоты в тех же точках. Результаты измерений записать в таблицу 1.

6.6 Показать результаты преподавателю и выключить радиопередатчик.

6.7 Построить графики зависимостей  $\delta_{\text{хол.}} = F(f_{\text{ген}})$  и  $\delta_{\text{гор.}} = F(f_{\text{ген}})$ .

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Схема автогенератора радиопередатчика.

7.5 Таблицы измерений.

7.6 Графики.

7.7 Выводы по работе.

7.8 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Назовите диапазон частот и длин волн радиопередатчика «Волхов».

8.2 К какому типу схем относится схема автогенератора радиопередатчика «Волхов»?

8.3 Назовите условия самовозбуждения в автогенераторе.

8.4 Поясните назначение дросселя в цепи катода автогенератора.

8.5 Как устранить влияние факторов неустойчивости?

## 9 Приложение

### 9.1 Автогенераторы

Автогенераторы (АГ) называются генераторами с самовозбуждением, так как возбуждение на управляющий электрод подается по цепи положительной обратной связи в самой схеме автогенератора, чтобы началось самовозбуждение в автогенераторе, надо выполнить два условия.

– Баланс фаз, означающий наличие положительной обратной связи. Математически это условие генерации выводится из системы уравнений АГ и записывается формулой

$$\varphi_{OC} + \varphi_K + \varphi_{ЭП} = 0 \quad (1)$$

где  $\varphi_{OC}$  – сдвиг фаз в цепи ОС;  
 $\varphi_K$  – сдвиг фаз в контуре;  
 $\varphi_{ЭП}$  – сдвиг фаз в электронном приборе.

– Баланс амплитуд означает достаточность напряжения обратной связи для поддержания устойчивой генерации. Математически это условие генерации выводится из системы уравнений АГ и записывается формулой

$$K_{OC} = \frac{U_Y}{U_B} > K_{KP} \quad (2)$$

В АГ различают 3 режима самовозбуждения: мягкий, жесткий и комбинированный. В мягком режиме рабочая точка лежит на крутом участке проходной характеристики и в электронном приборе (ЭП) протекают токи в выходной цепи. При подаче питания на ЭП появляются колебания в контуре и в цепи обратной связи и АГ возбуждается. В жестком режиме рабочая точка находится внизу проходной характеристики, токи малы и требуется запускаящее напряжение для самовозбуждения. В мягком режиме ниже КПД АГ, в жестком режиме он выше, так как он соответствует режиму с отсечкой, а мягкий режим – без отсечки выходного тока.

О режиме самовозбуждения судят по колебательным характеристикам, которые выражаются зависимостями  $I_{в1m} = f(U_{ym})$ . В мягком они более линейны, а в жестком имеют S-образную форму.

Главное требование к АГ - высокая стабильность частоты. Для обеспечения этого требования применяют параметрическую и кварцевую стабилизации.

При параметрической стабилизации стабилизируют параметры резонансной системы АГ и параметры режима электронного прибора. При параметрической стабилизации нестабильность частоты АГ может быть не больше чем  $H_0 = 10^{-4}$ . Для получения более высокой стабильности применяют сочетание параметрической и кварцевой стабилизации.

В РПДУ нашли применение 3-х точечные схемы АГ. Данная схема, рисунок 1а, соответствует емкостной 3-х точке, а на рисунке 1б индуктивной 3-х точке.

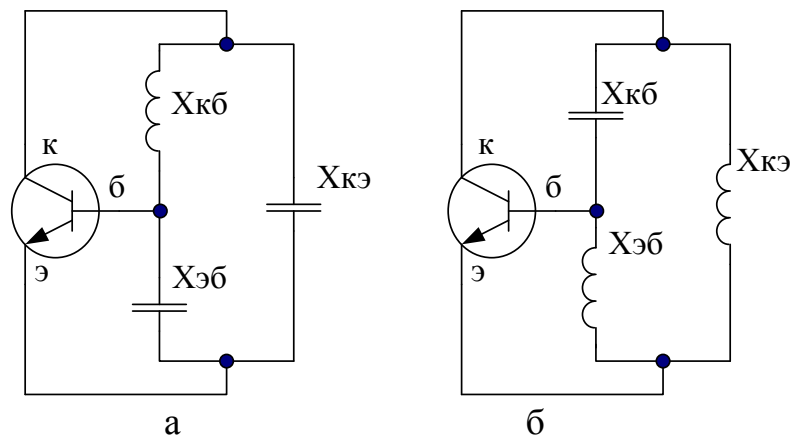


Рисунок 1 – Схемы АГ

Различают три вида схем кварцевых автогенераторов (КВАГ):

1. Осцилляторные
2. С кварцем в цепи обратной связи
3. Мостиковые КВАГ

Осцилляторные КВАГ используют только до 20...25 МГц, так как частота КВАГ зависит от толщины кварцевой пластины, чем выше генерируемая частота, тем тоньше должна быть кварцевая пластина. Самые высокие частоты в КВАГ получают в гармониковых автогенераторах (до 200 МГц).

Характер сопротивления кварцевого резонатора зависит от частоты, так как эквивалентная схема кварцевого резонатора представляет собой параллельный контур 3-го вида (емкость распределена по ветвям контура), поэтому такой контур имеет две резонансных частоты. Более низкая частота у последовательной цепи контура, а более высокая у всего параллельного контура, между этими частотами характер сопротивления индуктивный, а на других – емкостной.

Стабильность частоты автогенератора зависит от влияния дестабилизирующих факторов, таких как изменение температуры, влияющее на параметры контура АГ  $L_k$  и  $S_k$ ; нестабильность питающих напряжений электронного прибора (ЭП); вибрация; влияние каскадов радиочастотного тракта (РЧТ) на АГ; влажность воздуха и др.

## 9.2 Описание автогенератора радиопередатчика «Волхов»

Автогенератор (рисунок 2) собран на лампе 6Ж1П по 2-х контурной схеме с электронной связью (схема Шембеля), обеспечивающей высокую стабильность частоты при использовании параметрической стабилизации. «Внутренней» частью автогенератора является колебательный контур  $L1 - L2 - C1 - C3 - C5 - C7$ , подключенный 3 точками к лампе – к катоду, сетке и экранной сетке, выполняющей роль анода для «внутренней» части. Напряжение обратной связи снимается с емкости  $C3$  и прикладывается к 1 сетке и катоду. Дроссель  $L3$  изолирует катод по РЧ потенциалу и заземляет катод по постоянному току. Смещение на 1 сетку автоматическое за счет напряжения на  $R1$ , создаваемого

током 1 сетки. «Внешняя» часть является усилителем колебаний автогенератора, снимающихся с дросселя цепи согласования L4 и подаются на буферный каскад. Конденсатор C10 – разделительный, R4 – шунт в цепи измерителя тока анода. Рабочее (+) напряжение подается на экранную сетку от общего стабилизированного источника питания анода +150 В. Питание накала ~6,3 В стабилизированное. Цепь накала по РЧ току зашунтирована C8.

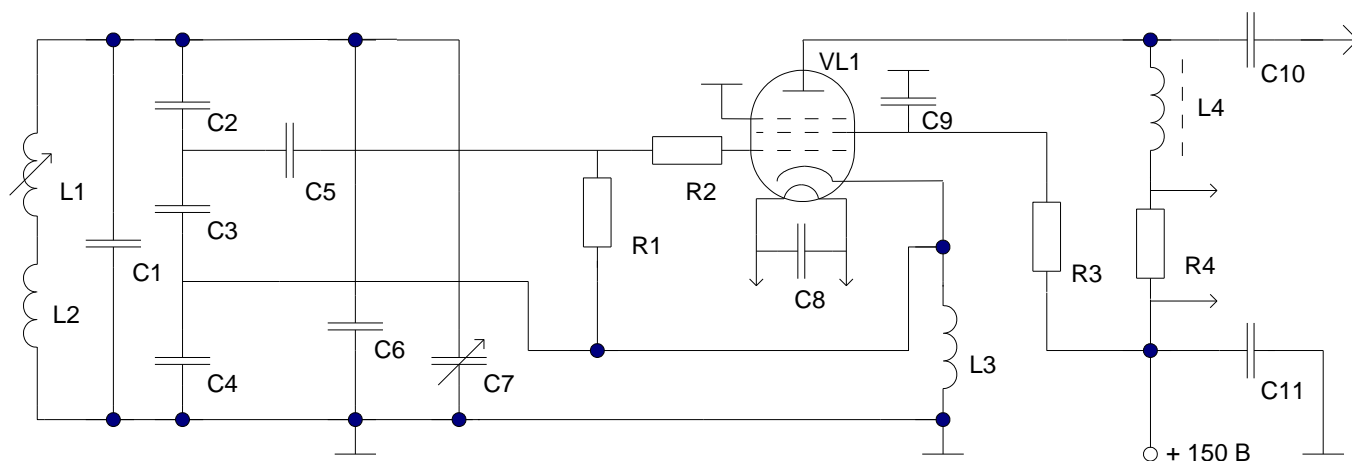


Рисунок 2 – Автогенератор. Схема электрическая принципиальная

## Лабораторная работа № 4

### Изучение возбудителя «БОТ» радиопередающего устройства с однополосной модуляцией «Корвет»

#### 1 Цель работы

1.1 Изучить устройство, схему и принцип работы однополосного возбудителя «БОТ».

#### 2 Литература

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи: учебное пособие для СПО/ Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 176 с.– Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148034/#1>

#### 3 Подготовка к работе

3.1 Ознакомиться с заданием.

3.2 Подготовить бланк отчета.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 В каком устройстве возбудителя подавляется несущая?

3.3.2 Каким методом формируют радиосигнал на частоте больше 1 МГц?

3.3.3 На сколько децибел подавляют частоту несущей и боковую полосу?

3.3.4 Что такое косвенный синтез частот?

#### 4 Основное оборудование

4.1 Радиопередающее устройство «Корвет».

#### 5 Задание

5.1 Ознакомиться с назначением, техническими данными и конструкцией возбудителя «БОТ», принципом его действия.

5.2 Найти основные блоки возбудителя на его конструкции и на структурной схеме.

#### 6 Порядок проведения работы

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 Изучить назначение и технические данные возбудителя «БОТ» и его принцип действия (приложение 9).

6.3 Ознакомиться с конструкцией возбудителя «БОТ». Найти основные блоки возбудителя на его конструкции и на структурной схеме.

#### 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

- 7.4 Структурная схема возбуждителя.
- 7.5 Технические данные возбуждителя.
- 7.6 Выводы по работе.
- 7.7 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## **8 Контрольные вопросы**

- 8.1 Как формируется выходная частота возбуждителя?
- 8.2 За счет чего возбуждитель имеет высокую стабильность?
- 8.3 Как формируются сигналы в режиме J3E, H3E, R2E, A1A?
- 8.4 Как формируются сигналы в режиме F1B, F7B, G1B?
- 8.5 Как осуществляется подавление несущей в возбуждители?
- 8.6 Как подавляется 2-я боковая полоса?

## **9 Приложение**

### **9.1 Назначение возбуждителя «БОТ»**

Возбуждитель «БОТ» является формирователем радиосигналов на гектометровых и коротких радиоволнах. Возбуждитель построен по схеме диапазонно-кварцевой стабилизации частоты, что позволяет при помощи одного опорного генератора получать на выходе сетку частот, имеющую такую же стабильность, какую имеет кварцевый генератор. Высокая стабильность частоты дает возможность применять в радиолинии, оборудованной радиопередающим устройством с возбуждителем «БОТ», радиотелефонную связь на одной боковой полосе, частотную телеграфию с различными величинами сдвига между частотами манипуляции и относительную фазовую телеграфию.

### **9.2 Технические характеристики**

Диапазон частот возбуждителя 1605-25600 кГц разбит на 10 поддиапазонов:

1605-1999,9 кГц; 2000-2999,9 кГц; 3000-3800 кГц; 4063-4650 кГц; 6200-6525 кГц; 8295-8815 кГц; 12330-13200 кГц; 16460-17360 кГц; 22000-22720 кГц; 25010-25600 кГц;

В каждом диапазоне обеспечивается сетка частот с равномерным шагом через 100 Гц. Возбуждитель обеспечивает режим работ со следующими типами излучений:

J3E – однополосная телефония на одной боковой полосе с подавленной несущей на 40 дБ (меньше 3%);

R3E – однополосная телефония на одной боковой полосе с уровнем несущей частоты больше 3%, но меньше 70%;

H3E – однополосная телефония на одной боковой полосе с уровнем несущей частоты более 70%;

H2A – тональное телеграфирование на верхней одной боковой полосе;

A1A – телеграфия с амплитудной манипуляцией;

F1B – телеграфирование посредством частотной манипуляции;

G1B – относительное фазовое телеграфирование.

Выходное напряжение возбuditеля составляет  $1,5 \div 0,15$  В на сопротивлении 50 Ом.

Величина нелинейных искажений при однополосной телефонной работе не превышает 3%.

Номинальная величина модулирующего напряжения НЧ составляет 0,775 В при входном сопротивлении 600 Ом.

### **9.3 Устройство возбuditеля**

Составные функциональные части, из которых состоит возбuditель следующие:

- опорный генератор;
- устройство формирования и сложения грубой и мелкой сеток частот, называемое синтезатором частоты;
- устройство формирования сигналов информации;
- выходное устройство.

### **9.4 Принцип работы возбuditеля**

Структурная схема возбuditеля приведена на рисунке 1. Возбuditель «БОТ» построен по принципу синтезатора частот, с диапазонно-кварцевой системой стабилизации с опорным высокостабильным кварцевым автогенератором «Гиацинт», который вырабатывает высокостабильную опорную частоту 5 МГц. Путем преобразования этой частоты, получают ряд таких же высокостабильных частот, используемых для синтеза сетки высокостабильных частот на выходе синтезатора частот с шагом 100 Гц.

Частота опорного генератора подается через делители и преобразователи частоты на селектор гармоник (СГ) и датчик мелкой сетки (ДМС). Переключателями установки частоты выбираются выходные частоты СГ и ДМС. Выходные частоты СГ управляются переключателями «x10 МГц» и «x1 МГц», а выходные частоты ДМС определяются переключателем сотен/десятков, единиц килогерц, сотен герц. Стабильность выходных частот полностью определяется стабильностью опорного генератора (ОГ). На первый смеситель подаются две частоты: одна – дискретная и стабильная от селектора гармоник, другая – переменная от управляемого генератора плавного диапазона (ГПД). Далее частота с выхода первого смесителя (СМ1) делится на 10 и подается на устройство сравнения частот (УСЧ), куда также подается частота ДМС.

Напряжение на выходе УСЧ по своей величине находится в прямой зависимости от разности частот, подаваемых на его вход. Выходное напряжение подается на устройство перестройки и подстройки частоты, которое управляется частотой ГПД.



Частоты синтезатора подаются на выходное устройство возбuditеля для преобразования радиосигналов, полученных в блоке формирования на поднесущих радиочастотах 3 или 8 МГц на рабочие частоты РПДУ.

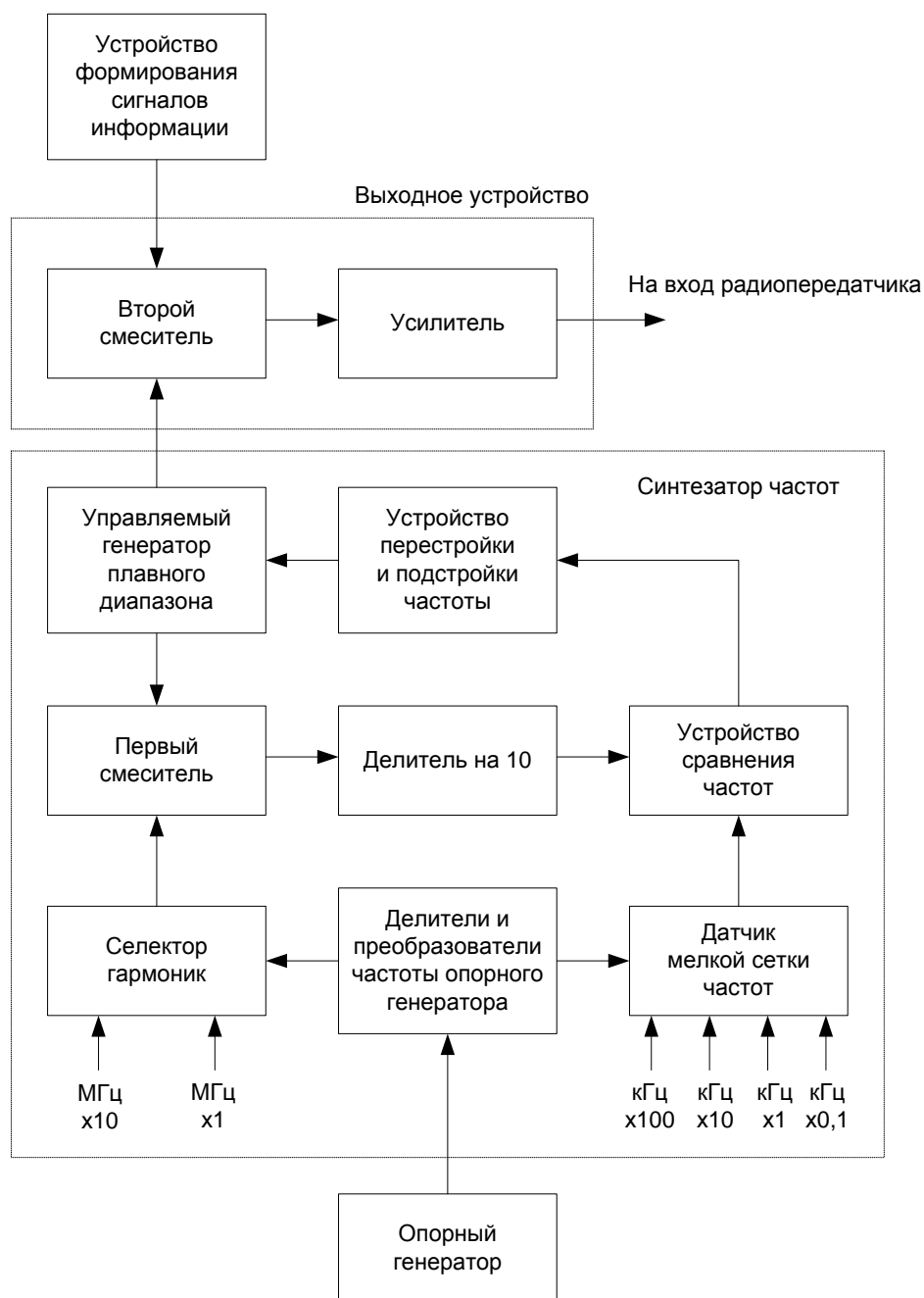


Рисунок 1 – Возбудитель «БОТ». Схема электрическая структурная

В выходном устройстве полученные радиосигналы пропускаются через полосовые фильтры, которые делят весь диапазон рабочих частот на 10 поддиапазонов и усиливаются по мощности до заданной величины (до 45 мВт). Частота возбудителя определяется значением  $f_{\text{ВОЗБ}} = f_{\text{ГПД}} \pm f_{\text{ФОРМ}}$

$f_{\text{ФОРМ}}$  3 МГц или 8 МГц в зависимости от выбранного поддиапазона.

Возбудитель «БОТ» построен по косвенному синтезу, так как в синтезаторе частот есть ГПД, который стабилизируется системой стабилизации с кольцом ФАПЧ. При прямом синтезе сетку частот получают от опорного генератора путем 4-х действий арифметики.

## 9.5 Формирование сетки частот синтезатора

Структурная схема синтезатора частот приведена на рисунке 2. Напряжение частоты 5 МГц поступает на делитель частот (ДЧ), с выхода которого напряжение поделенных частот подается:

1 МГц – на селектор гармоник (СГ)

2 МГц, 500 и 400 кГц – на устройство, формирующее вспомогательные частоты ППЧ (преобразователь для получения постоянных частот)

10 кГц – на ДМС

100 кГц – в тракт формирования сигналов информации.

СГ умножает частоту 1 МГц и выдает 7 дискретных частот 6, 7, 8, 9, 10, 11 19 МГц, одна из которых подается на вход смесителя.

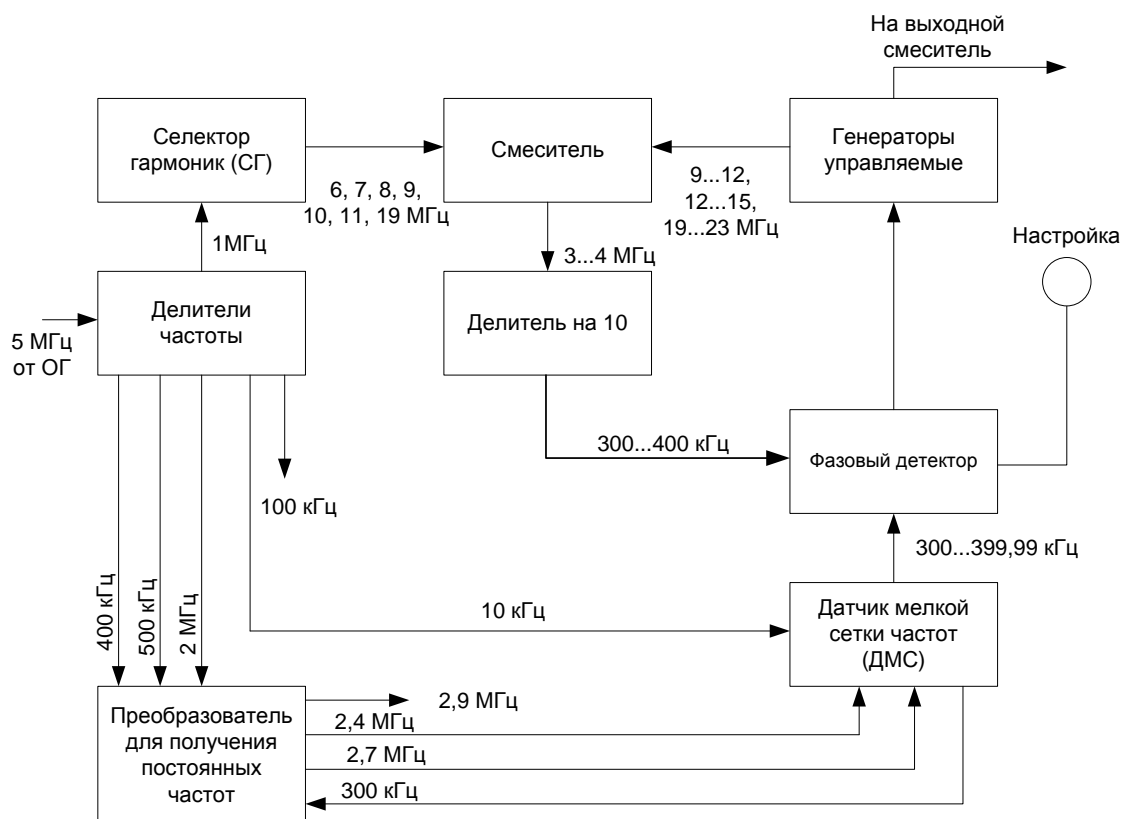


Рисунок 2 – Синтезатор частот. Схема электрическая структурная

Преобразователь постоянных частот (ППЧ), преобразуя от ДЧ частоты (в преобразовании участвует и частота 300 кГц, полученная от датчика мелкой сетки), выдает 2,4 и 2,7 МГц на датчик мелкой сетки и частоты 2,9 МГц, используемые для последующих преобразований сигналов информации.

В датчике мелкой сетки частота 10 кГц умножается, образуя ряд частот от 300 до 390 кГц, через 10 кГц, эти частоты затем преобразуются с помощью постоянных частот ППЧ 2,4 и 2,7 МГц в ряд от 300 до 399,99 кГц с шагом 10 Гц.

Три управляемых генератора ГУ выдают напряжение соответственно в следующих диапазонах частот: 9 – 12; 12 – 15 и 19 – 23 МГц.

Напряжение ГУ подается на вход смесителя, на другой вход которого подается соответствующая частота от селектора гармоник. На выходе смесителя получается разностная частота в диапазоне 3 – 4 МГц, которая подается на делитель, осуществляющий деление на 10, после чего получается частота в диапазоне 300 – 400 кГц.

Частота 300 – 400 кГц поступает на фазовый детектор ДФ, на второй вход которого поступает напряжение от ДМС в диапазоне 300 – 399,99 кГц с шагом 10 Гц.

После установки частоты возбуждителя и нажатия кнопки «Настройка», частота ГУ начинает плавно изменяться. Изменение частоты происходит под действием напряжения, подаваемого от устройства перестройки на полупроводниковый конденсатор переменной емкости (варикап) генератора.

Стабильность частоты ГПД обеспечивает кольцо ФАПЧ в которое входят первый смеситель, делитель на 10, устройство сравнения (ФД) и устройство перестройки и подстройки частоты (варикап, включенный в РНС ГПД). При сравнении преобразованной частоты ГПД с высокостабильной частотой ДМС ФД вырабатывает управляющее напряжение  $\pm U_{упр}$ , величина которого пропорциональна разности частот. Это напряжение подается на варикап и изменяет его емкость и частоту ГПД, пока разность не станет равна нулю, тогда ГПД будет застabilизирован, частота его станет такой же стабильной, как и частота опорного генератора.

Значение выходной частоты СГ так же, как и включение того или иного ГПД, однозначно связано с выходной частотой возбуждителя, и команды на включение соответствующего управляемого генератора и частоты СГ, которые подаются от переключателей десятков и единиц мегагерц (таблица 1).

## **9.6 Формирование сигналов информации**

Структурная схема тракта формирования сигналов информации изображена на рисунке 3.

При работе в режиме J3E R3E H3E формирование сигналов информации происходит в блоке однополосного сигнала БОС, при работе в режиме F1B в блоке частотной манипуляции, в режиме G1B (ОФТ) в блоке фазовой манипуляции.

Однополосная телефония осуществляется путем модуляции поднесущей частоты 100 кГц напряжением частот разговорной речи, поступающим на блок однополосного сигнала БОС с линии или от микрофонного усилителя через усилитель-ограничитель блока низкой частоты БНЧ.

Формирование однополосных радиосигналов в возбуждителях производят фильтровым методом с повторной балансной модуляцией. Повторная БМ необходима для получения радиосигналов на частотах выше 1 МГц. При этом методе используют 2-3 поднесущих частоты, чтобы обеспечить разнос боковых полос на ВЧ и легче подавить 2-ую боковую полосу на частотах ВЧ диапазона. Подавление должно быть не менее, чем на 60 дБ.

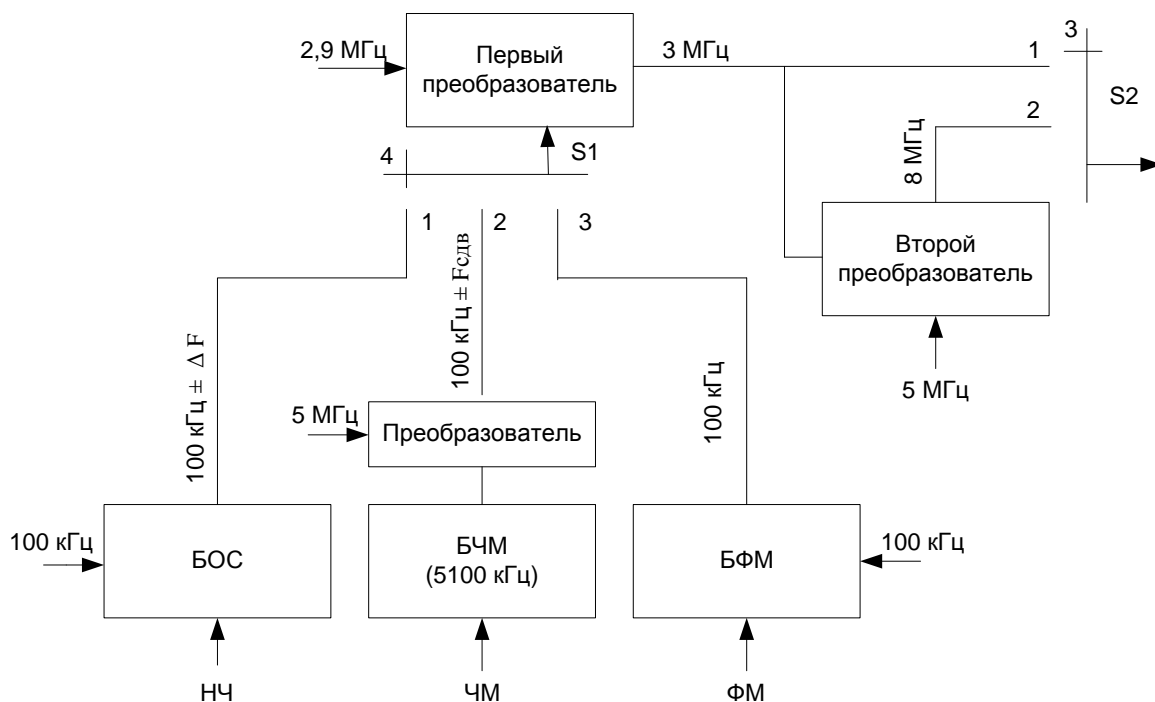


Рисунок 3 – Тракт формирования сигналов информации.  
Схема электрическая структурная

Частотная телеграфия осуществляется путем манипуляции частоты кварцевого генератора 5,1 МГц положительными посылками напряжения, поступающими от аппарата СТ или других специальных датчиков. Частота 5,1 МГц преобразуется в частоту 100 кГц с помощью сигнала 5 МГц, поступающего от опорного генератора. ОФТ осуществляется путем манипуляции на  $180^\circ$  фазы напряжения поднесущей частоты 100 кГц положительными посылками напряжения, поступающими от специальных датчиков.

Амплитудная манипуляция осуществляется напряжением 12 В, поступающим от манипулятора, установленного в предварительном усилителе передатчика. Манипулятор управляется от телеграфного ключа напряжением -12 В.

Далее напряжение с частотой 100 кГц, содержащее сигнал информации, подается через переключатель S1 (положение которого определяется выбранным типом излучения) на вход первого преобразователя, на второй вход которого поступает напряжение с частотой 2,9 МГц, подаваемое с блока ППЧ.

Напряжение с частотой 3 МГц, полученное на выходе преобразователя, поступает либо непосредственно на выходное устройство, либо на 2-ой преоб-

разователь, где частота 3 МГц преобразуется в 8 МГц. Выбор частоты 3 МГц и 8 МГц определяется частотным диапазоном возбудителя.

Величина и знак, с которым частота информации подается в выходное устройство, даны в таблице 1.

Знак «-» означает, что частота информации в смесителе выходного устройства вычитается из частоты ГУ.

## 9.7 Выходное устройство

Структурная схема выходного устройства приведена на рисунке 4.

Выходное устройство состоит из блока преобразователя и блока выходного усилителя. В состав каждого блока входят полосовые фильтры, коммутируемые в соответствии с частотным диапазоном, на котором в данный момент возбудитель работает. На один вход преобразователя подается напряжение с частотой 3 или 8 МГц (с сигналом информации), на другой – напряжение от ГПД синтезатора частот. Полученное на выходе преобразователя напряжение подается на вход частотных фильтров. Аналогичные фильтры стоят на выходе усилителя. Выходной тракт имеет устройство для автоматической регулировки выходного напряжения.

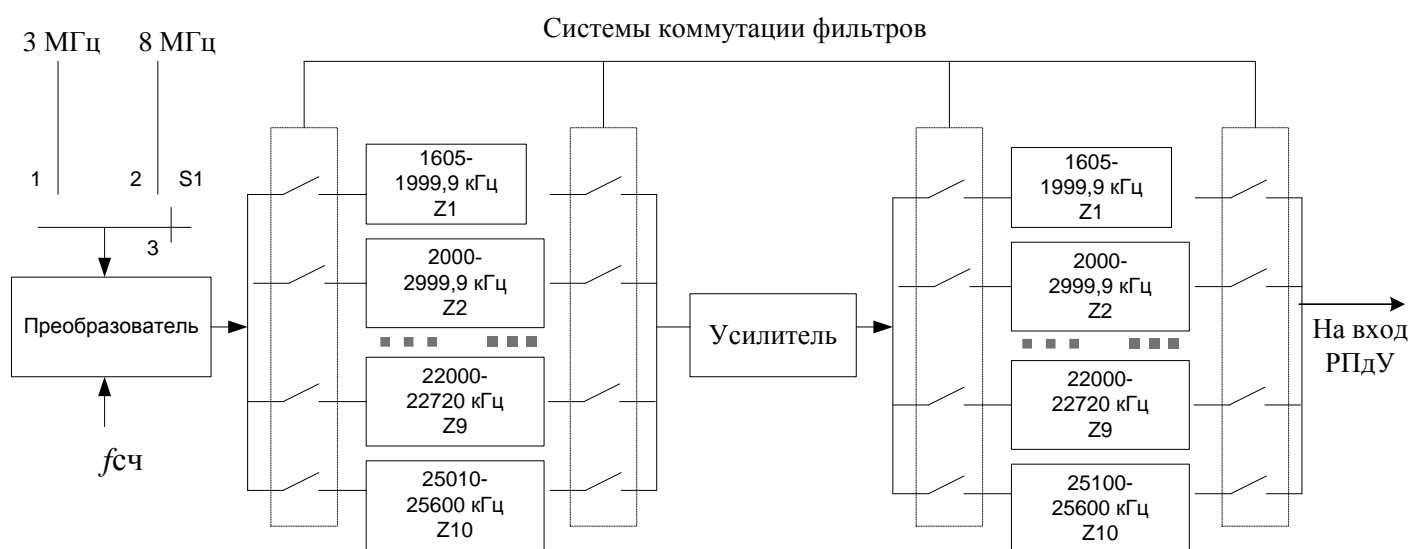


Рисунок 4 – Выходное устройство. Схема электрическая структурная

Выход возбудителя через кабель с  $W = 50$  Ом подключается к предварительному усилителю передатчика.

В таблице 1 приведены численные значения выходных частот возбудителя и соответствующие им значения компонентов, образующих эти частоты.

Таблица 1

Частотный диапазон возбуждителя кГц	1605-1999,9	2000-2999,9	3000-3800	4063-4650	6200-6525	8195-8815	12330-13200	16460-17360	22000-22720	25010-25600
Частота СГ МГц	6	7	8	9	11	8	6; 7	10; 11	11	19
Диапазон ГПД МГц	9-12		12-15		9-12		12-15		19-23	
$f_{инф.}$ МГц	-3	-8	-8	-3	-3	-3	+3	+3	+8	+3

### 9.8 Опорный генератор «Гиацинт»

ОГ «Гиацинт» представляет собой малогабаритный кварцевый высокочастотный генератор, который предназначен для синхронизации частот различных радиоустройств. Генератор обеспечивает работу в лабораторных, цеховых полевых условиях в стационарной и передвижной аппаратуре в интервале температур от  $-60^{\circ}+2^{\circ}\text{C}$  до  $+62^{\circ}+2^{\circ}\text{C}$ , при относительной влажности окружающей среды до 100% при  $t = 50+2^{\circ}\text{C}$

Номинальная частота генератора 5 МГц. Величина выходного напряжения на  $R_{АКТ} = 75 \text{ Ом}$  составляет  $250+50 \text{ мВ}$ .

Относительная нестабильность частоты генератора в нормальных климатических условиях через 12 часов после его включения за последующие 24 часа работы не более  $2 \cdot 10^{-7}$ .

Генератор обеспечивает непрерывную работу. При непрерывной работе в нормальных условиях через 24 часа после включения относительная нестабильность частоты составляет  $5 \cdot 10^{-7}$  за сутки.

Питание генератора осуществляется от источника напряжения постоянного тока с заземлением любой полярности 27 В или напряжением 24 В.

Мощность, потребляемая генератором от источника питания при  $U_{мин} = 29,7 \text{ В}$  составляет:

- в режиме разогрева не более 24 Вт;
- в установившемся режиме, при  $t = -60 + 2^{\circ} \text{ C}$ , не более 12,0 Вт
- в установившемся режиме, при  $t = +25 + 5^{\circ} \text{ C}$ , не более 16 Вт

Габаритные размеры: 106x60x44 мм.

Масса не превышает 0,35 кг.

Среднее время наработки на отказ – 3000 час.

Высокая стабильность частоты ОГ обеспечивается термостатированием прецизионного кварцевого резонатора, элементов схемы автогенератора, элементов схемы подстройки частоты и элементов схемы рабочего терморегулирования.

## Лабораторная работа № 5

### Исследование оконечного каскада радиопередающего устройства «Волхов» с АМ на выходной электрод

#### 1 Цель работы

1.1 Приобретение практических навыков по установлению требуемого режима по статической модуляционной характеристике (СМХ), снятие динамических модуляционных характеристик (ДМХ).

#### 2 Литература

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи: учебное пособие для СПО/ Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 176 с.– Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148034/#1>

#### 3 Подготовка к работе

3.1 Ознакомиться с заданием.

3.2 Подготовить бланк отчета.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 Какое выражение представляет собой уравнение АМ колебаний?

3.3.2 Какое выражение является динамической частотной модуляционной характеристикой?

3.3.3 Какому режиму соответствует пиковая точка СМХ при анодной модуляции?

3.3.4 Какое выражение является уравнением СМХ?

#### 4 Основное оборудование

4.1 Радиопередающее устройство «Волхов».

4.2 Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-36.

4.3 Осциллограф С1-71.

#### 5 Задание

5.1 Изучить схему оконечного каскада радиопередающего устройства и составить схему амплитудно-модулированного генератора (АМГ) с анодно-экранной модуляцией, подключив к оконечному каскаду модуляционный трансформатор.

5.2 Научиться устанавливать требуемый режим работы модулируемого каскада.

5.3 Снять динамические модуляционные характеристики модулируемого каскада радиопередающего устройства.

#### 6 Порядок проведения работы

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 Включить передатчик и настроить его в режиме АЗ при 25% выходной мощности на заданную частоту.

6.3 Подключить на вход модулятора НЧ генератор. К антенному блоку подключить осциллограф (гнездо «Осциллограф»).

6.4 Изменяя уровень НЧ сигнала на входе модулятора, добиться получения на входе осциллографа устойчивой осциллограммы АМ колебаний на частоте 1000 Гц.

6.5 Изменяя входное напряжение НЧ сигнала на модуляторе от 0 до напряжения  $U_{max}$ , при котором глубина модуляции на выходе достигает 100%, записывать показания модулятора, измеряющего коэффициент глубины модуляции. Частота НЧ генератора должна быть постоянной и равной 1000 Гц. Измерения записать в таблицу 1.

Таблица 1

Ф, Гц	1000									
U, В										
m, %										

6.6 По данным таблицы 1 построить динамическую модуляционную характеристику  $m = f(U_{\Omega})$  при  $F = const$ .

6.7 Подать на вход модулятора НЧ сигнал с уровнем, обеспечивающим 50 % глубины модуляции на частоте 1000 Гц. Изменять частоту модулирующего сигнала от 300 до 3000 Гц, показания модулятора записать в таблицу 2.

Таблица 2

Ф, Гц	300	400	500	800	1000	1500	2500	3000
U, В								
m, %								

6.8 Показать результаты преподавателю и выключить радиопередающее устройство.

6.9 По данным таблицы 2 построить динамическую модуляционную характеристику  $m = f(F)$  при  $U_{\Omega} = const$ .

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Схема оконечного каскада.

7.5 Таблицы измерений.

7.6 Графики.



7.7 Выводы по работе.

7.8 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Какая схема АМ применяется в данном радиопередающем устройстве?

8.2 Перечислите достоинства и недостатки анодно-экранной модуляции.

8.3 Что такое динамические модуляционные характеристики?

8.4 Что оценивают по динамическим характеристикам?

## 9 Приложение

### 9.1 Амплитудная модуляция

При амплитудной модуляции модулирующий сигнал воздействует на амплитуду радиочастотного колебания, изменяя ее по закону информационного (модулирующего) сигнала. Степень воздействия модулирующего сигнала на радиочастотные колебания при амплитудной модуляции оценивают коэффициент глубины модуляции.

В результате воздействия модулирующего сигнала на радиочастотные колебания в амплитудно-модулируемом генераторе (АМГ) получают сложное радиочастотное колебание, состоящее из несущей и боковых частот. Полоса спектра радиосигнала на выходе АМГ определяется верхней частотой спектра модулирующего сигнала по формуле

$$\Pi = 2F_{\max} \quad (1)$$

Полоса получается значительно уже, чем при угловой модуляции, поэтому амплитудная модуляция радиосигнала применяется в радиодиапазонах с малой частотной вместимостью (ДВ, СВ, КВ).

Серьезным недостатком АМ радиосигналов является невыгодное распределение энергии в спектре радиосигнала, так как большая часть энергии приходится на несущее колебание и малая часть на полезные боковые частоты, содержащие информацию о передаваемом сообщении. Кроме того помехозащищенность АМ радиосигналов значительно хуже, чем у радиосигналов с угловой модуляцией. Амплитуда РЧ колебания изменяется при АМ по формуле

$$I_m = I_{mT}(1 + m_n \cos \Omega t) \quad (2)$$

где:  $I_{mT}$  – амплитуда в режиме молчания;

$m_n$  – коэффициент глубины модуляции в пиковой точке.

$I_{mn} = I_{mT}(1 + m_n)$ , так как  $\cos \Omega t = 1$  в минимальной точке

$I_{mM} = I_{mT}(1 - m_n)$ , так как  $\cos \Omega t = -1$

$$\text{При } m_n = 1 \quad I_{m\Pi} = 2I_{mT} \quad I_{mM} = 0$$

Поэтому электронный прибор для АМГ выбирают с учетом пиковой мощности. АМГ бывают с модуляцией на выходной и на управляющий электроды. Применяют АМ радиосигналов в РПДУ РВ и РПДУ ТВ.

О качестве модуляции судят по СМХ и ДМХ. СМХ определяется функцией  $I_{B1m} = f(E_{\text{МОД}})$   $E_{\text{МОД}}$  – это напряжение питания ЭП, которое будет изменяться по закону модулирующего сигнала. ДМХ бывают двух видов: ДМХ амплитудная и ДМХ частотная. Динамическую модуляционную характеристику снимают при модуляции, а статическую модуляционную характеристику без модуляции в амплитудно-модулирующем генераторе (АМГ), чем выше линейность этих характеристик, тем лучше качество модуляции.

## 9.2 Амплитудно-модулируемый генератор

Амплитудно-модулируемый генератор (рисунок 1) собран на пентоде ГУ-81 с оконечным каскадом с резонансной нагрузочной системой. Схема модуляции – анодно-экранный. Модулирующий сигнал с модуляционного трансформатора подается последовательно с питающими напряжениями  $E_A$  и  $E_{\text{Э}}$  на анод и экранную сетку. АЭМ имеет выше качество модуляции, высокий КПД. Недостаток АЭМ – большая мощность модулятора. Его мощность должна быть примерно одинакова мощности АМГ. Модулятор – это УЗЧ, предназначенный для усиления звукового сигнала до мощности, достаточной для модуляции радиочастотных колебаний.

Питание анода осуществляется по параллельной схеме от выпрямителя + 1500 В через блокировочные дроссели L3, L4 и блокировочный конденсатор С7. С8 разделительный. Напряжение смещения подается с делителя в блоке управления через резистор R1 и блокировочный дроссель L1. Питание экранной сетки осуществляется от отдельного выпрямителя + 600 В через блокировочный резистор R3. Цепь накала по РЧ току заблокирована С3 и С4.

Недостаток такой схемы в том, что постоянные токи экранной сетки и анода подмагничивают модуляционный трансформатор и это приводит к увеличению нелинейных искажений в АМГ, поэтому в мощных АМГ РВ РПДУ применяют схемы с отдельным протеканием постоянных и переменных токов в цепях модуляции. В этом случае в цепи питания ставят модуляционные дроссели, блокирующие источники питания от НЧ токов.

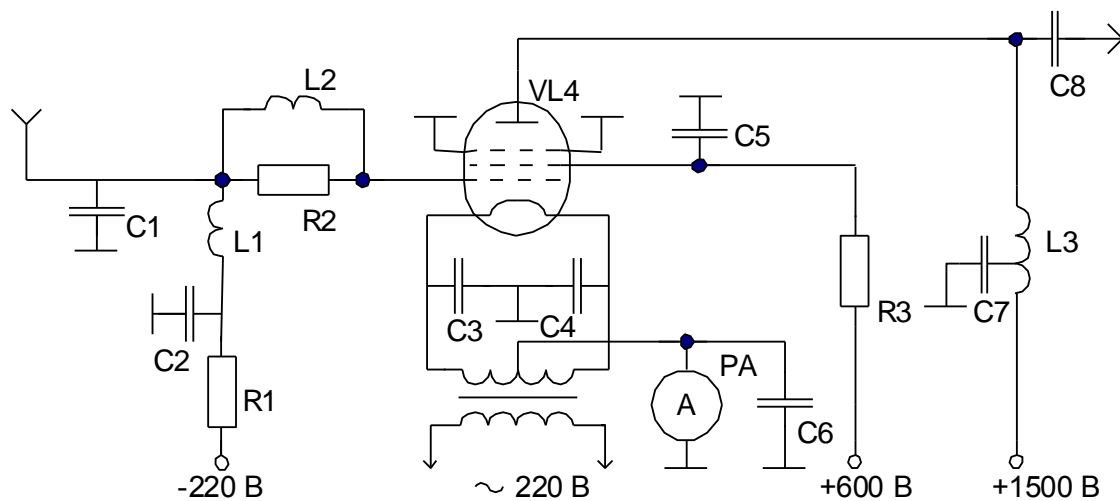


Рисунок 1 – Схема АМГ радиопередающего устройства.  
Схема электрическая принципиальная

## **Лабораторная работа № 6**

### **Изучение радиопередающего устройства «Корвет» с однополосной модуляцией**

#### **1 Цель работы**

1.1 Приобретение практических навыков по включению и настройке радиопередающего устройства, определению функций системы управления, блокировки и сигнализации (УБС), установке режима для получения требуемой мощности.

#### **2 Литература**

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи: учебное пособие для СПО/ Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 176 с.– Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148034/#1>

#### **3 Подготовка к работе**

3.1 Ознакомиться с заданием.

3.2 Подготовить бланк отчета.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 Где происходит модуляция в радиопередающем устройстве с однополосной модуляцией?

3.3.2 Какие достоинства имеет однополосная модуляция перед амплитудной модуляцией?

3.3.3 Что такое усилитель с распределенным усилением (УРУ)?

3.3.4 Назвать виды внеполосных излучений.

#### **4 Основное оборудование**

4.1 Радиопередающее устройство «Корвет».

#### **5 Задание**

5.1 Изучить технические характеристики радиопередающего устройства «Корвет».

5.2 Изучить структурную схему радиопередатчика.

5.3 Изучить принципиальную схему радиочастотного (РЧ) тракта радиопередатчика «Корвет».

5.4 Ознакомиться с конструкцией радиопередающего устройства.

#### **6 Порядок проведения работы**

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 Изучить технические характеристики радиопередатчика «Корвет».

6.3 Изучить структурную схему радиопередатчика, изображенную на рисунке 1 приложения 9.

6.4 Изучить принципиальную схему РЧ тракта радиопередатчика (приложение 9).

6.5 Ознакомиться с конструкцией радиопередающего устройства и усвоить назначение основных ее частей, органов управления и контроля.

## **7 Содержание отчета**

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Структурная схема радиопередатчика «Корвет».

7.5 Технические характеристики радиопередатчика.

7.6 Выводы по работе.

7.7 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## **8 Контрольные вопросы**

8.1 Назовите виды маломощных каскадов РЧ тракта.

8.2 Расшифровать режимы работы радиопередающего устройства: А1А, НЗЕ, JЗЕ, F1В, G1В (ОФТ).

8.3 Пояснить назначение частей радиопередающего устройства и органов управления.

## **9 Приложение**

### **9.1 Техническая характеристика радиопередатчика «Корвет»**

Радиопередающее устройство «Корвет» предназначен для радиосвязи в диапазоне декаметровых волн (КВ) и части гектометровых волн (СВ). Рабочие частоты радиопередающего устройства определяются возбудителем БОТ, входящим в комплект и вырабатывающим частоты 1650 – 25800 кГц, с шагом сетки 100 Гц.

Радиопередатчик обеспечивает работу на широкополосные типы антенн через высокочастотные (ВЧ) кабели с волновым сопротивлением 75 Ом и на несимметричный Т-или Г-образный вибратор.

Пиковая мощность в эквиваленте 75 Ом не ниже 300 Вт.

Радиопередатчик обеспечивает режим работы:

JЗЕ – однополосная телефония на одной боковой полосе с подавленной несущей на 40 дБ (меньше 3%);

RЗЕ – однополосная телефония на одной боковой полосе с уровнем несущей частоты больше 3%, но меньше 70%;

НЗЕ – однополосная телефония на одной боковой полосе с уровнем несущей частоты более 70%;

Н2А – тональное телеграфирование на верхней одной боковой полосе;

А1А – телеграфия с амплитудной манипуляцией;

F1В – телеграфирование посредством частотной манипуляции;

G1В – относительное фазовое телеграфирование.

Неравномерность АЧХ в полосе от 350 до 2700 не более 6 дБ  
Отклонение частоты радиопередатчика не более 15 Гц на всех частотах.

## 9.2 Конструкция радиопередатчика «Корвет»

Радиопередатчик «Корвет» сконструирован в одном корпусе. В корпусе имеются следующие блоки: возбудитель «БОТ», предварительный усилитель, усилитель мощности, блок фильтров, пульт местного управления, блок питания управления, анодно-экранный блок питания, блок-реле и колодки внешних соединений. В отдельные блоки выделены микротелефон с усилителем, пульт дистанционного управления, согласовывающий трансформатор.

## 9.3 Структурная схема радиопередатчика «Корвет»

Возбудитель «БОТ» обеспечивает полное формирование всех видов работ РПДУ. Уровень выходного сигнала возбудителя 1,5 В. Манипулятор обеспечивает подавление сигнала в паузе. Дуплексные фильтры НЧ обеспечивают подавление помех радиоприему ВЧ шума при работе на парных частотах. Каскад предварительного усиления (КПУ) обеспечивает усиление мощности радиосигнала до уровня достаточного для возбуждения оконечного каскада, состоит из двух апериодических каскадов, собран на биполярных транзисторах. Усилитель мощности обеспечивает основное усиление до 300 Вт, собран по схеме УРУ на 4-х лампах ГУ-74Б. Блок фильтров обеспечивает подавление внеполосных излучений в диапазоне СВ (1605 – 3800 кГц). Для согласования выходного каскада с антенной применяют согласующий трансформатор. Управление и контроль за работой РПДУ производится с местного пульта РПДУ или с дистанционного выносного пульта.

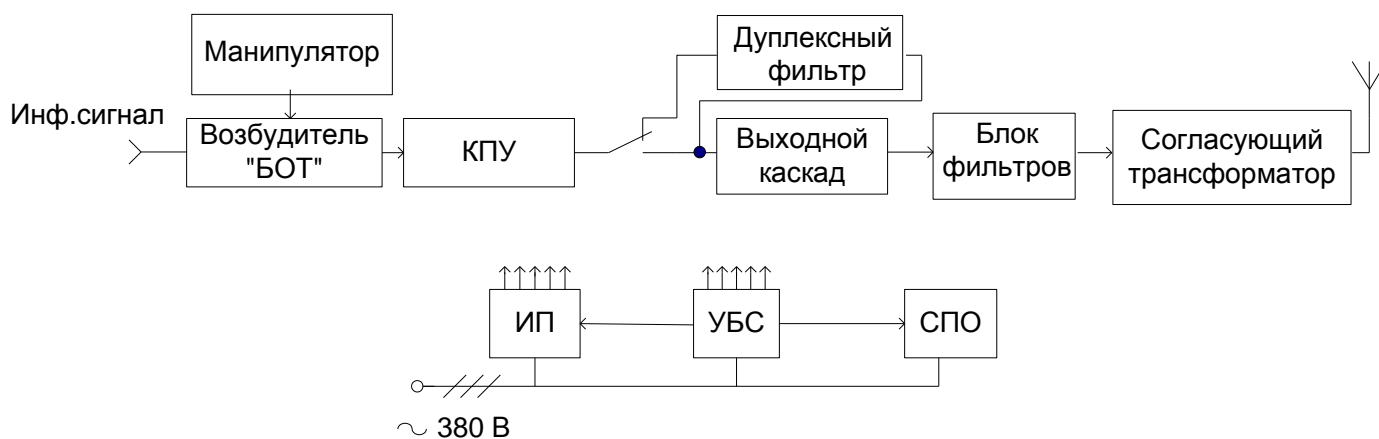


Рисунок 1 – Радиопередающее устройство «Корвет».  
Схема электрическая структурная

## 9.4 Принципиальная схема РЧ тракта радиопередатчика «Корвет»

### 9.4.1 Усилитель высокой частоты (каскад предварительного усиления)

Усилитель высокой частоты (схема выдана в форме раздаточного материала) состоит из двух каскадов. Первый каскад усилителя, собранный на транзисторе Т1 типа 2Т904А, работает в режиме класса А. Второй каскад, собранный на двух транзисторах Т2 и Т3 типа КТ907А (2Т907А), работает по двухтактной схеме в режиме с отсечкой выходного тока, угол отсечки равен  $90^\circ$  (режим В). Его получают подбором напряжения смещения при помощи делителей смещения. Способ смещения – фиксированный.

Напряжение с выхода возбуждителя поступает через контакты реле Р1 на входной трансформатор ТР1. На резисторах R5 и R6 собран делитель напряжения, который подключается в режиме 25 % мощности и уменьшает примерно вдвое уровень входного сигнала. Величина входного сопротивления при этом остается постоянной ( $R = 50 \text{ Ом}$ ). Смещение на базу транзистора Т1 поступает с делителя напряжения, собранного на резисторах R1 и R2 через блокировочный дроссель Др1. Конденсатор С1 – элемент блокировочного фильтра.

Компенсация входных реактивностей первого каскада происходит в согласованном фильтре нижних частот, образованном конденсаторами С22 и С7, индуктивностью рассеяния трансформатора ТР1, резистором R4 и входным сопротивлением транзистора Т1. Граничная частота этого фильтра 30 – 35 МГц.

Компенсация выходных паразитных параметров транзистора Т1 осуществляется аналогичным образом фильтром на конденсаторе С5, индуктивности рассеяния трансформатора ТР2 и конденсаторах С9 и С10.

Резистор R4 предохраняет базу транзистора от перенапряжений, а резистор R7 обеспечивает режим транзистора по постоянному току.

Конденсаторы С6 и С8 блокировочные в цепи питания коллектора.

С выхода первого каскада высокочастотное напряжение (6 В) поступает через симметрирующий трансформатор на транзисторы Т2 и Т3. Транзисторы Т2 и Т3 имеют отрицательную обратную связь на резисторах R16 и R17, что упрощает подбор транзисторов для двухтактной схемы.

С выхода симметрирующего трансформатора ТР3 сигнал поступает через согласующий трансформатор ТР4 на фильтры. Выходное напряжение усилителя составляет 12,5 В на нагрузке  $R = 50 \text{ Ом}$  в диапазоне частот 1,6 – 25,6 МГц.

Фильтры ТЦ2.067.428 Сп, ТЦ2.067.429 Сп, ТЦ2.067.430 Сп, ТЦ2.067.431 Сп, ТЦ2.067.432 Сп, ТЦ2.067.433 Сп, предназначены для создания дополнительной фильтрации на частотах приема при телефонной дуплексной работе на парных частотах, выделенных для морской подвижной службы.

Каждый фильтр представляет собой пятизвенный фильтр низкой частоты, что обеспечивает высокую крутизну на частоте среза, а также хорошую равномерность частотной характеристики в полосе пропускания. Входное и выходное сопротивление фильтра в полосе пропускания составляет 50 Ом.

Предварительный усилитель располагается на задней стенке за возбудителем и крепится к корпусу четырьмя невыпадающими винтами.

Предварительный усилитель размещается в штампованном сварном корпусе из алюминия и экранирован сверху и снизу съемными обшивками.

Конструктивно предварительный усилитель разделен перегородками на три отсека. В первом отсеке размещается печатная плата манипулятора, во втором - печатная плата усилителя высокой частоты и в третьем - шесть фильтров и коммутирующие реле.

#### 9.4.2 Усилитель мощности

Усилитель мощности (схема выдается в форме раздаточного материала) предназначен для усиления высокочастотного сигнала до уровня порядка 300 Вт. Выходной каскад выполнен на четырех лампах ГУ-74Б по схеме усилителя бегущей волны, на тетродах с общим катодом по схеме усилителя распределенного усиления или УБВ. При этом входная и выходная цепи УРУ (УБВ) построены в виде искусственных длинных линий (ИДЛ), работающих в режиме бегущих волн (в согласованном режиме). Входная ИДЛ однородная, то есть её волновое сопротивление равно 200 Ом, а выходная (анодная) линия неоднородная, то есть её волновое сопротивление имеет два значения 600 Ом и 190 Ом на двух последних лампах. Волновое сопротивление снижается включением емкостей параллельно анодам.

Индуктивности L8 – L7 совместно с входной емкостью лампы (55 пФ) составляют сеточную линию с волновым сопротивлением  $\rho = 200$  Ом и граничной частотой 36 МГц. Трансформатор TP1 согласует это сопротивление с волновым сопротивлением кабеля от предварительного усилителя ( $\rho = 50$  Ом).

Конденсатор C14 блокировочный в цепи смещения. Для повышения эффективности развязки напряжение смещения подается на сетки ламп через обмотку трансформатора TP1. Резистор R11 входит в состав делителя в цепи смещения.

Звенья L7, L13, C11 и L12, L14, C12 служат для согласования входа и выхода сеточной линии с входным трансформатором и нагрузкой. Резисторы R10, R16 являются нагрузкой сеточной линии. На диоде Д1 и резисторе R13 собрана измерительная цепь для контроля напряжения возбуждения.

Индуктивности L1 – L4 и конденсаторы C4, C5 совместно с выходной емкостью лампы (около 20 пФ вместе с монтажом) образуют анодную линию граничной частотой 30 МГц.

На лампах Л1 и Л2 анодная линия выполнена однородной с волновым сопротивлением, равным 600 Ом, на лампах Л3 и Л4 выполнена неоднородная анодная линия с понижением волнового сопротивления до 190 Ом.

Индуктивность L5 обеспечивает согласование анодной линии с нагрузкой. Индуктивность L6 и конденсатор C6 блокировочный фильтр по анодному питанию.



Измерение постоянной составляющей анодного тока ламп производится при помощи измерительных резисторов R6 – R9. Конденсаторы C7 – C10 блокировочные в цепи экранных сеток.

Резисторы R2 – R5, R17 – R20 предохраняют лампы от сильных перегрузок по току экранной сетки при работе на рассогласованную нагрузку. Конденсаторы C1, C2 и C13 разделительные.

Режим ламп выбран, исходя из минимальных нелинейных искажений, и не меняется при переключении уровней выходных мощностей. При работе пониженной мощностью (25%) напряжение возбуждения уменьшается примерно в два раза.

Главной особенностью используемой схемы является возможность работы без заметного снижения мощности на рассогласованную антенну (судовые антенны) без дополнительных согласовывающих элементов в широком диапазоне частот.

Усилитель мощности выполнен в виде блока плоской штампованной конструкции из алюминия.

На передней панели блока находятся предохранители вентилятора, измерительный прибор и переключатель на восемь положений для измерения токов каждой лампы, суммарного тока ламп и напряжения возбуждения. Под откидывающейся защитной крышкой верхней части блока смонтированы ламповые панели и все элементы сеточной линии.

Анодная линия смонтирована на общей изоляционной плате, которая одновременно используется для крепления ламп при помощи скоб и в качестве направляющей для потока воздуха через радиаторы ламп.

Высоковольтные цепи ламп конструктивно выделены в отдельный отсек, который защищен от случайного прикосновения откидывающейся крышкой. В нижней части блока установлен вентилятор, пневматический переключатель и две колодки внешнего монтажа.

Усилитель мощности откидывается на двух полуосях, при откидывании усилителя мощности срабатывает механический блок-контакт и отключается питание анодной и экранной цепи.

Высокочастотный сигнал с выхода усилителя мощности поступает на блок фильтров через мощный пружинный контакт, расположенный в нижней части усилителя мощности.

## Лабораторная работа № 7

### Изучение системы УБС радиопередающего устройства «Корвет». Включение и настройка

#### 1 Цель работы

1.1 Изучить устройство, схему, функции и взаимодействие частей системы УБС радиопередающего устройства.

#### 2 Литература

2.1 Зырянов, Ю.Т., Федюнин, П.А., Белоусов, О.А. Радиопередающие устройства в системах радиосвязи: учебное пособие для СПО/ Ю. Т. Зырянов, П. А. Федюнин, О. А. Белоусов – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 176 с.– Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/148034/#1>

#### 3 Подготовка к работе

3.1 Ознакомиться с заданием.

3.2 Подготовить бланк отчета.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 Почему напряжение накала на катоды подают постепенно?

3.3.2 Почему резонансные каскады настраивают при половинном напряжении на аноде?

3.3.3 Какой элемент системы управления, блокировки и сигнализации (УБС) контролирует работу систему принудительного охлаждения (СПО)?

3.3.4 Какой вид механической блокировки применяют в радиопередающих устройствах большой мощности?

#### 4 Основное оборудование

4.1 Радиопередающее устройство «Корвет».

#### 5 Задание

5.1 Изучить устройство системы УБС и ее основных частей.

5.2 Изучить порядок включения и настройки радиопередатчика «Корвет».

5.3 Научиться практически включать и настраивать радиопередатчик.

5.4 Проверить соответствие показаний в цепях возбудителя при помощи измерительного прибора возбудителя

5.5 Измерить токи ламп выходного каскада и напряжения возбуждения на входе усилителя с распределенным усилением (УРУ).

#### 6 Порядок проведения работы

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 Устройство системы УБС и ее основных частей.

Система УБС обеспечивает заданный порядок включения, настройки и управления радиопередатчика, защиту обслуживающего персонала от попада-

ния под опасное для жизни напряжения радиопередатчика, от неправильной эксплуатации и в аварийных ситуациях, а также обеспечивает общую сигнализацию радиопередатчика при его эксплуатации.

Система УБС обеспечивает следующие операции:

- включение и выключение питания;
- установка частоты;
- установка типа излучения;
- установка уровня 25% и 100% мощности;
- выключение анода.

Сигнализация об исполнении осуществляется подсветкой соответствующих кнопок. Дополнительный процесс управления сопровождается следующей сигнализацией на световом табло пульта управления:

- при включении питания загорается надпись «ТЕРМОСТАТ»;
- во время прогрева ламп усилителя мощности – надпись «ЖДАТЬ»;
- после включения анода – надпись «ГОТОВ»;
- при наличии излучения – надпись «РАБОТА»;
- при неисправности – надпись «НЕИСПРАВНО»;

Кроме того, в РПДУ могут быть переключения:

- установка сдвига частот 170, 250, 500 или 1000 Гц;
- установка телефонных режимов «Симплекс - Дуплекс»;
- переключение напряжения сети с 220 В на 380 В.

Радиопередатчик «Корвет» имеет местное и дистанционное управление. Благодаря использованию в радиочастотном (РЧ) тракте неперестраиваемых апериодических каскадов усиления, радиопередатчик «Корвет» прост в управлении и имеет минимальное количество органов управления и настройки.

Радиопередатчик имеет две системы блокировок: механическую и электрическую. Основной частью системы УБС является блок-реле, предназначенный для запоминания поступающих с пульта управления команд и формирования дополнительных команд для автоматического управления возбуждателем и радиопередатчиком.

На пульте местного управления расположены:

- шесть переключателей установки частоты;
- семь кнопок переключения работы режимов радиопередатчика;
- кнопки «ПИТАНИЕ ВКЛ.» и «ПИТАНИЕ ВЫКЛ.»;
- кнопки «АНОД ВЫКЛ.», «25% ВКЛ.», «100% ВКЛ.»;
- табло обобщенной сигнализации с надписями «ТЕРМОСТАТ», «НЕИСПРАВНО»;
- кнопка «НАСТРОЙКА»;
- индикаторный прибор.

6.3 Включение радиопередатчика «Корвет» производится в следующем порядке:

- нажмите кнопку «ПИТАНИЕ ВКЛ.». По этой команде включаются все источники блока питания управления, цепи накала ламп каскада и вентилятор. При наличии питания загорается надпись «ТЕРМОСТАТ». Во время прогрева ламп усилителя мощности и охлаждения ламп после выключения питания загорается надпись «ЖДАТЬ» (при включении горит в течение 2 минут).

- нажмите кнопку рода работ А1 (А1А)

- установите рабочую частоту декадными переключателями.

- нажмите кнопку «НАСТР.»

- когда погаснет надпись «ЖДАТЬ», на табло нажмите кнопку «25% ВКЛ.». При этом загорается надпись «ГОТОВ»

- манипулируя телеграфным ключом, убедиться в наличии тока антенны (эквивалента)

- изменение режима работы и частоты производится после нажатия кнопки «АНОД ВЫКЛ.» и «ПИТАНИЕ ВЫКЛ.», при этом гаснет надпись «ГОТОВ»

- при выключении передатчика нажать кнопку «АНОД ВЫКЛ.» и «ПИТАНИЕ ВЫКЛ.», на табло в течение 4-х минут горит надпись «ЖДАТЬ». Затем загорается надпись «ТЕРМОСТАТ», после чего можно выключить питание РПДУ на силовом щите.

6.4 Пользуясь измерительным прибором и переключателем к нему, произвести измерения в цепях возбуждителя и сравнить их с табличными значениями (смотри таблицу на лицевой панели возбуждителя). Измеренные значения занести в таблицу 1.

Таблица 1

Контрольные точки	мкА	Контрольные точки	мкА	Контрольные точки	мкА
ОГ		2,9 МГц		БОС	
500 кГц		2,7 МГц		БЧМ	
100 кГц		2,4 МГц		БФМ	
10 кГц		ГУ		+12 В	
1 кГц		СГ		+ 27 В	
К 100		ДФ		-12 В	
К 10		3 МГц		- 60 В	
К 1		8 МГц		-27 Д	
К 0,1		БНЧ		-27 Ф	

6.5 Измерить токи ламп выходного каскада и напряжение на входе УРУ в классе излучения А1А, пользуясь измерительным прибором оконечного каскада. При этом ключ манипуляции должен быть нажат. Измеренные значения занести в таблицу 2.

Таблица 2

Положение переключателя	Шкала	Номинальное значение	Измеренное значение
I <sub>1</sub>	1 А	0,3 ± 0,1	
I <sub>2</sub>	1 А	0,3 ± 0,1	
I <sub>3</sub>	1 А	0,3 ± 0,1	
I <sub>4</sub>	1 А	0,3 ± 0,1	
I <sub>0</sub>	5 А	1,2 ± 0,2	
U <sub>ВХ</sub>	50 V	25 ± 3	

## 7 Содержание отчета

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Показания контрольных приборов возбуждителя и РЧ тракта.

7.5 Выводы по работе.

7.6 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Назовите функции системы УБС.

8.2 Расшифруйте условные обозначения классов излучения радиопередатчика.

8.3 Назначение опережающего контакта в схеме УБС.

## 9 Приложение

### 9.1 Электропитание РПДУ

Электроснабжение передающих центров осуществляется от государственных энергосистем переменного тока по отдельным линиям электропередачи с напряжением 6, 10, 35 или 110 кВ. Для обеспечения бесперебойности работы передающего оборудования электроснабжение осуществляется по двум высоковольтным линиям (основной и резервной), подключаемым к разным распределительным подстанциям единой энергосистемы. В необходимых случаях передающий центр снабжается автономной дизель-электрической станцией, используемой в качестве резерва. Любой из указанных выше резервов вводится в

строй автоматически при нарушениях в работе основной линии электропередачи.

По существующим стандартам электропитание стационарных передатчиков должно обеспечиваться от сети трехфазного тока напряжения 380 В (с частотой 50 Гц). Если рабочее напряжение линии электроснабжения равно 35 или 110 кВ, то оно обязательно понижается до 6 или 10 кВ на специальной подстанции, размещаемой вблизи границы территории радиоцентра.

Дальнейшая канализация электроэнергии к техническим зданиям осуществляется по подземным линиям, заканчивающимся на понизительной подстанции, непосредственно питающей отдельные РПДУ.

Высокие требования по сохранению минимального уровня шумов, одной из составляющих которых является фон переменного тока, заставляет внимательно относиться к величине пульсаций выпрямителей и глубине паразитной АМ, возникающей при питании катодов ГЛ переменным током.

Для ослабления составляющих фона (50 Гц и кратных частот) используются различные приемы: создание искусственной средней точки в катодной цепи, применение трансформаторов Скотта, подключение нечетного числа индивидуальных НТ к разным фазам сети и др. Как крайнюю меру следует рассматривать питание накальных цепей постоянным током

## **9.2 Системы охлаждения РПДУ**

Генерация больших мощностей сопровождается значительными тепловыми потерями, что требует применения эффективных систем принудительного охлаждения.

В настоящее время в стационарных РПДУ находят применение три основных вида принудительного охлаждения: водяное, воздушное и испарительное (пароводяное).

Водяная система охлаждения снабжается насосами (основными и резервными), манометрами, водомерами, термометрами, гидрокнопками и другими вспомогательными элементами, позволяющими следить за ее нормальным функционированием. Кроме того, радиоцентру необходимо иметь внешнюю систему накопления и распределения воды, теряемой в бетонных бассейнах вследствие испарения. В этом отношении менее громоздкой и более экономичной по расходу воды является водовоздушная система охлаждения, отличающаяся от рассмотренной выше водоводяной тем, что дистиллированная вода охлаждается в калориферах потоком воздуха, который либо отводится за пределы технического здания, либо используется для его отопления (в холодное время года).

Воздушная система охлаждения весьма компактна, менее дорогостоящая и более надежна, чем водяная. Однако она уступает последней по возможностям теплоотвода, ограничиваясь верхним пределом мощности РПДУ в несколько сотен киловатт. При организации воздушного охлаждения учитываются общие вентиляционные возможности технического здания, а при конструи-

ровании стоек, шкафов и моноблоков передающего оборудования стремятся обеспечить такую внутреннюю его компоновку, при которой наиболее рационально используются общие воздушные потоки с созданием наиболее скоростных струйных течений в местах с повышенным тепловыделением. Контроль за скоростью воздушных потоков осуществляется с помощью аэроконтактов, связанных с системой УБС. Недостатком воздушной системы охлаждения является значительный акустический шум. Для снижения его вентиляторы крепятся на амортизирующих подставках, а иногда выносятся в отдельные помещения, воздуховоды соединяются мягкими вставками (муфтами). Наиболее подходящими для использования воздушной системы охлаждения следует признать автоматизированные необслуживаемые передатчики (управляемые дистанционно).

Более предпочтительны испарительные системы принудительного охлаждения. По компактности, стоимости и надежности они сопоставимы с воздушными, а по эффективности теплоотвода превосходят водяные, поскольку при одном и том же объеме жидкости при испарении ее отбирается на порядок больше тепловой энергии, чем при нагреве жидкости до приемлемых температур.

### **9.3 Система управления, блокировки и сигнализации РПДУ**

Система управления, блокировки и сигнализации (УБС) представляет собой комплекс элементов и устройств, облегчающих оперативное обслуживание передатчика. Она состоит из трех взаимодействующих друг с другом подсистем: управления (обеспечивает и упрощает процессы включения или отключения различных источников питания в строго заданной, принудительной последовательности); блокировки (предохраняет обслуживающий персонал от поражения его электрическим током, как при оперативном обслуживании, так и при выполнении работ внутри защитного ограждения); сигнализации (информирует оператора о готовности оборудования, о нормальной работе отдельных блоков или цепей, или, наоборот о возникших неисправностях).

Система УБС обязательно содержит устройства защиты как всего РПДУ, так и отдельных наиболее ответственных его элементов от перегрузок (электрических и тепловых), а также от последствий, связанных с ошибочными действиями обслуживающего персонала. Многие операции выполняются системой УБС автоматически, с надлежащей реакцией и скоростью, затруднительных, или порой даже недоступных человеку, что, несомненно, повышает надежность работы оборудования и его сохранность, а также облегчает условия труда.

При пусках и остановках РПДУ система УБС включается первой и обесточивается последней. В случае ее неисправности эксплуатация основного и вспомогательного оборудования недопустима!

Система УБС всегда имеет автономное питание через индивидуальный трансформатор и собственный выпрямитель, к которым не должны подключаться другие потребители энергии. Ни одна из ее шин питания не должна иметь соединения с корпусом, чтобы избежать ложных срабатываний при слу-

чайных замыканиях на корпус в сложных и разветвленных цепях системы УБС. При пропадании напряжения, питающего эту систему, немедленно и автоматически должны включаться передатчик и разряжаться конденсаторы фильтров его мощных выпрямителей.

При подготовке РПДУ к работе выдерживается такая последовательность подачи питающих напряжений: присоединение к трехфазной сети 380 В, включение УБС, системы охлаждения, накала, смещения, малых выпрямителей, мощных выпрямителей. По мере выполнения предыдущей операции создаются условия для выполнения последующего этапа. Выключение РПДУ проводится обычно в обратной последовательности. В зависимости от типа РПДУ предусматривается либо ручное, либо автоматическое выполнение этих операций. Если в процессе подготовки РПДУ к работе или по завершении ее по какой-нибудь причине исчезнет одно из питающих напряжений, то система УБС автоматически обесточивает все цепи, включаемые позже в указанной выше последовательности выполнения операций. Стационарные РПДУ всегда снабжаются системой двойной (электрической и механической) блокировки. Такое дублирование не является избыточным, поскольку при одинарной, например электрической, блокировке после остановки передатчика вследствие неисправностей в контактных группах реле, пускателей и т. п. (залипания, пригорания и т. д.) могут сохраняться опасные напряжения.

Для уверенного обесточивания таких цепей вводится еще и механическая блокировка, имеющая в своем составе разъединители с ручным приводом. Причем ножи-контакты таких устройств должны быть доступны визуальному контролю со стороны обслуживающего персонала. Обе блокировки действуют независимо друг от друга, обеспечивая взаимное резервирование.

Из нескольких разновидностей механических защитных блокировок наибольшее распространение в РПДУ средней и большой мощности получила жезловая. Все двери, люки и некоторые выдвижные блоки передатчика снабжаются замками, открываемыми специальными ключами-жезлами. При запертых дверях ключи хранятся в гнездах разъединителя общего питания РПДУ. Разъединитель может быть включен только при наличии в нем полного комплекта жезлов. Конструкция дверных замков такова, что освобождение ключа возможно только три запертой двери, а сам замок нельзя открыть другим ключом или простым инструментом.

#### **9.4 Автоматическая настройка контуров РПДУ**

Многие РПДУ связи и вещания полностью автоматизированы, т. е. их пуск, настройка на заданную волну (частоту) или остановка осуществляются после подачи одной-двух команд.

Источниками РЧ сигналов для таких РПДУ являются возбудители с дискретным подбором рабочих частот («кварц-волна» или синтезаторы). При этом число команд соответствует количеству либо фиксированных частот (до деся-



ти), либо числу разрядов формирователя сетки частот с последующей настройкой на любую частоту диапазона.

Перестройка резонансных каскадов РЧ тракта проводится в следующем порядке: 1) устанавливается заданный диапазон частот (переключаются контурные конденсаторы и отводы катушек индуктивности), 2) роторы вариометров или конденсаторов переменной емкости устанавливаются в позиции, приблизительно соответствующие выбранной рабочей частоте (грубая настройка), 3) грубо устанавливается связь с нагрузкой, 4) проводится точная настройка контуров, 5) уточняется связь с фидером (загрузка ОК). Первые три операции осуществляются до включения анодных напряжений, причем не существует принципиальных ограничений для одновременного их выполнения.

В качестве исполнительных устройств, устанавливающих органы настройки в требуемые позиции, используются электродвигатели с редукторами. Датчиками положения являются потенциометры, механически связанные с приводом органа настройки и объединенные в мостовые устройства.

Современные передатчики магистральной радиосвязи могут управляться и дистанционно. В состав их оборудования входят диспетчерский и исполнительный полуккомплекты. Первый из них устанавливается на централизованном пункте управления, удаленном от передающего центра до 60 км, и содержит устройства набора и кодирования команд, телеконтроля и телесигнализации.

Исполнительный полуккомплект размещается в непосредственной близости от управляемого РПДУ и включает в себя аппаратуру декодирования сигналов команд и кодирования сигналов, информирующих диспетчерский пункт о состоянии РПДУ.

Система телеуправления и телесигнализации позволяет: 1) производить выбор одной из десяти заранее подготовленных частот. 2) устанавливать род работы, 3) выбирать для передачи нижнюю или верхнюю полосу частот при ОМ и регулировать уровень пилот-сигнала, 4) производить пуск или остановку РПДУ, 5) выбирать одну из нескольких штатных антенн, 6) вводить в действие резервный РПДУ вместо вышедшего из строя и 7) контролировать работу водителя и передатчика.

## **Лабораторная работа № 8**

### **Исследование состава и параметров оборудования радиостанции космической связи «Орбита»**

#### **1 Цель работы**

1.1 Исследовать состав оборудования радиостанции космической связи «Орбита».

#### **2 Литература**

2.1 Приложение 9.

#### **3 Подготовка к работе**

3.1 Ознакомиться с заданием.

3.2 Подготовить бланк отчета.

3.3 Ответить на вопросы для допуска к работе:

3.3.1 Назовите диапазоны радиоволн и радиочастот спутниковой системы передачи (ССП).

3.3.2 Какие параметры имеет геостационарная орбита (ГСО)?

3.3.3 Какое достоинство ГСО перед другими орбитами?

#### **4 Основное оборудование**

4.1 Радиостанция космической связи «Орбита».

4.2 Антенна радиостанции «Орбита».

4.3 Основное оборудование радиостанции.

#### **5 Задание**

5.1 Ознакомится с основным и промежуточным оборудованием радиостанции «Орбита».

5.2 Ознакомиться с особенностями конструкции и параметрами антенно-фидерного устройства радиостанции.

#### **6 Порядок проведения работы**

6.1 При выполнении работы соблюдать правила техники безопасности.

6.2 Ознакомиться с основным и промежуточным оборудованием радиостанции «Орбита». Записать основные характеристики.

6.3 Ознакомиться с антенно-фидерным устройством радиостанции «Орбита». Записать основные характеристики и параметры антенны и фидеров.

#### **7 Содержание отчета**

7.1 Наименование работы.

7.2 Цель работы.

7.3 Основное оборудование.

7.4 Техническая характеристика оборудования радиостанции.

7.5 Выводы по работе.

7.6 Ответы на вопросы из п.3.3 и п.8.

## 8 Контрольные вопросы

8.1 Для чего была создана радиостанция «Орбита» и когда она введена в строй?

8.2 Какая антенна используется на радиостанции? Назовите основные параметры этой антенны.

8.3 Какую работу выполняет радиостанция в настоящее время и в каком диапазоне радиоволн и радиочастот?

8.4 Назовите типы фидеров, применяемых на радиостанции «Орбита».

8.5 Какой искусственный спутник земли (ИСЗ) применяется в системах «Орбита» в начале ее работы?

## 9 Приложение

Радиостанция «Орбита» была введена в строй в 1967 году и предназначалась для передачи центральных телевизионных программ в удаленные регионы СССР. Передача радиосигналов в 60-х годах осуществлялась в диапазоне ДМВ ( $f_{\text{приема}} \approx 2$  ГГц) через спутник «Молния-1». Первый в мире спутник связи «Молния-1» выведен в 1965 на высокоэллиптическую орбиту с параметрами: апогей  $\sim 40$  тыс.км над Северным полушарием и  $\sim 500$  км над Южным. Орбита имеет наклон  $65^\circ$  к земной оси. При такой орбите спутник был виден в течении 8 часов. 3 спутника на такой орбите создают постоянно действующую систему с сеансом связи по 8 часов с каждым спутником. Для постоянного контакта со спутниками антенна радиостанции «Орбита» имеет систему с поворотным устройством и станцией наведения и слежения за спутниками. Все радиостанции системы «Орбита» были приемными (кроме центральной). Они принимали радиосигналы со спутника и передавали его на телецентры по специальной радиорелейной системе передач, где радиосигнал демодулировался и подавался на радиопередающие телевизионные станции. Так как радиопередающие устройства на спутниках имеют малую мощность (десятки Ватт) при большом расстоянии до спутника ( $\sim 40$  тыс.км) антенна станции имеет большой коэффициент направленного действия (КНД) 50 дБ и игольчатую диаграмму направленности.

На радиостанции «Орбита» применяется параболическая 2-х зеркальная антенна (АДГ). Антенна с диаметром большого зеркала 12 м. Антенна и оборудование радиостанции соединяются фидерами в виде волноводов круглого и прямоугольного сечения.

С 70-х годов радиостанция была модернизирована и переведена в СВЧ диапазон, стала работать с геостационарными спутниками (круговая орбита в плоскости экватора и высотой  $\sim 36$  тыс.км). При такой орбите спутник вращается синхронно с Землей и антенна уже находится в неподвижном состоянии.

В 90-х годах радиостанция стала приемо-передающей станцией и обеспечивает радиосвязь через геостационарный спутник с г.Нарьян-Мар, с Новой Землей и г. Мезень, предоставляя радиоканалы мобильным радиосистемам передачи.

