

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
*ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ*  
*УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ*  
**МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ**  
**КАФЕДРА РАДИООБОРУДОВАНИЯ И СХЕМОТЕХНИКИ**

ПРИЛОЖЕНИЕ  
к сборнику описаний лабораторных работ

**РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ**

ЧАСТЬ 3

ОСНОВЫ УСТРОЙСТВ ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ

**Лабораторная работа №10**

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

(ГЕНЕРАТОРА С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ)

НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Москва 2015

ПРИЛОЖЕНИЕ к сборнику описаний лабораторных работ «РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ  
ЧАСТЬ 3 — ОСНОВЫ УСТРОЙСТВ ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ  
РАДИОСИГНАЛОВ»

Лабораторная работа №10

«ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ (ГЕНЕРАТОРА С  
ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ) НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ»

Составитель: Р.Ю. Иванюшкин, к.т.н., доцент.

При подготовке описания использована техническая документация, предоставленные производителем лабораторного оборудования – Центром "Учебная техника в телекоммуникациях" при Санкт-Петербургском Государственном Университете Телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

**ВНИМАНИЕ !!! СОБЛЮДЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ В УЧЕБНЫХ  
ЛАБОРАТОРИЯХ РПДУ МТУСИ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЯЗАТЕЛЬНО !!!**

*Действующие в учебных лабораториях РПДУ МТУСИ Правила безопасности, студенты изучают на первом занятии в лаборатории при вводном инструктаже. Работать в лаборатории без изучения этих правил и соответствующего оформления запрещается!!! Требуется строжайшая сознательная дисциплина, как общая, так и в части соблюдения правил безопасности.*

### **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Лабораторная работа №10 относится к общему циклу лабораторных работ по группам дисциплин «Радиопередающие устройства», «Основы генерирования и формирования радиосигналов», «Устройства генерирования и формирования радиосигналов», выполняемых студентами направлений «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (профили подготовки «Системы мобильной связи», «Цифровое телерадиовещание», «Системы радиосвязи и радиодоступа»), «Радиотехника (профиль подготовки «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов»), а также специальности «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Количество лабораторных работ и порядок их выполнения определяется графиком лабораторных занятий, который составляется в соответствии с действующей учебной программой и вывешивается не позднее, чем на неделю, предшествующей началу занятий в лаборатории.

К очередной лабораторной работе допускаются студенты, продемонстрировавшие должную степень подготовки и успешно защитившие предшествующие лабораторные работы.

### **ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА**

Учебный лабораторный стенд "Устройства генерирования и формирования сигналов" разработан Центром "Учебная техника в телекоммуникациях" при Санкт-Петербургском Государственном Университете Телекоммуникаций им проф. М.А. Бонч-Бруевича при участии кафедры Радиопередающих устройств МТУСИ. Лабораторный стенд содержит комплекс измерительной аппаратуры и сменные блоки - макеты, позволяющие выполнять несколько лабораторных работ.

Лицевая сторона установки имеет три панели, две из которых (левая и правая) являются стационарными и содержат набор измерительных приборов, а средняя панель вместе с установленными на ней элементами и платами (именуемая сменным блоком) является съемной и представляет собой лабораторный макет, соответствующий определенной лабораторной работе. Содержание выполняемой лабораторной работы определяется видом установленного сменного блока.

**Описание левой и правой панелей лабораторного стенда, а также описания встроенных в стенд измерительных приборов приводятся в основных методических указаниях по части 3-ей лабораторного практикума [4].**

Дополнительно для проведения лабораторных работ необходимы внешние измерительные приборы:  
осциллограф ОСУ-2 или аналогичный;  
радиочастотный вольтметр ВЗ-39 (или ВЗ-38) или аналогичный.

**ВНИМАНИЕ:** для выполнения лабораторной работы № 10 в лабораторный стенд должен быть установлен сменный блок «ГЕНЕРАТОР С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ»!

## **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить принципиальную схему, принципы функционирования и режимы работы резонансного усилителя мощности (генератора с внешним возбуждением — ГВВ) на биполярном транзисторе и экспериментально исследовать его динамические, нагрузочные и амплитудные характеристики.

### ВОПРОСЫ ДИСЦИПЛИНЫ, ИЗУЧАЕМЫЕ ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РАБОТЫ

1. Резонансные усилители мощности (генераторы с внешним возбуждением): принципиальная схема, принцип работы, преимущества и недостатки резонансного построения.
2. Классификация режимов работы усилителя мощности (ГВВ) по углу отсечки. Зависимость угла отсечки усилителя мощности (ГВВ) от напряжений смещения и внешнего возбуждения.
3. Динамические характеристики усилителя мощности (ГВВ). Классификация режимов работы ГВВ по степени напряженности.
4. Зависимости режима работы усилителя мощности (ГВВ) от изменения питающих напряжений, напряжения возбуждения и сопротивления нагрузки. Нагрузочные характеристики усилителя мощности (ГВВ).
5. Зависимость режима работы усилителя мощности (ГВВ) при изменении напряжения возбуждения и амплитудная характеристика усилителя мощности (ГВВ).

Ссылки на рекомендуемую литературу для самоподготовки приведены ниже в методических указаниях.

## **ЗАДАНИЕ**

### **ПРИ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКЕ:**

1. Изучить принципы построения и функционирования резонансного усилителя мощности (ГВВ), пути протекания токов, точки приложения напряжений, назначение элементов принципиальной схемы.
2. Изучить особенности работы усилителя мощности (ГВВ) в режимах с отсечкой выходного тока, зависимости величины угла отсечки от напряжений смещения и возбуждения.
3. Изучить принципы построения динамических характеристик усилителя мощности (ГВВ) и классификацию его режимов по степени напряженности.
4. Изучить влияние изменений величин питающих напряжений, напряжения возбуждения и сопротивления нагрузки на режим работы усилителя мощности (ГВВ). Изучить нагрузочные характеристики усилителя мощности (ГВВ).
5. Изучить зависимость режима работы от величины напряжения возбуждения и амплитудные характеристики усилителя мощности (ГВВ) при разных углах отсечки.
6. Ознакомиться с устройством сменного блока (лабораторного макета).

### **ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ:**

7. Экспериментально исследовать зависимости величины угла отсечки коллекторного тока от величин напряжения смещения и напряжения возбуждения. Пронаблюдать и зарисовать осциллограммы коллекторного тока, соответствующие различным углам отсечки.
8. Пронаблюдать и зарисовать осциллограммы коллекторного тока, соответствующие различной напряженности режима работы усилителя мощности (ГВВ).
9. Экспериментально исследовать зависимости степени напряженности режима

усилителя мощности (ГВВ) при изменении величин питающих напряжений, напряжения возбуждения и сопротивления нагрузки.

10. Пронаблюдать на экране осциллографа и зарисовать динамические характеристики усилителя мощности (ГВВ), соответствующие разным режимам его работы.
11. Экспериментально исследовать нагрузочные характеристики резонансного усилителя мощности (ГВВ).
12. Экспериментально исследовать амплитудные характеристики резонансного усилителя мощности (ГВВ) при разных углах отсечки.

### **ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА (СМЕННОГО БЛОКА)**

Сменный блок «Генератор с внешним возбуждением» включает в себя предварительный усилитель-повторитель (драйвер), усиливающий колебания внешнего возбуждения (подаваемые на вход сменного блока от встроенного в лабораторный стенд генератора ВЧ) и обеспечивающий требуемое напряжение возбуждения исследуемому ГВВ; резонансный каскад усиления мощности (ГВВ) на биполярном транзисторе; магазин переключаемых резистивных нагрузок, а также стабилизированные управляемые источники напряжения смещения и коллекторного питания. На вход сменного блока (гнездо «КТ1») при выполнении лабораторной работы подается гармоническое возбуждение от встроенного генератора ВЧ (левая панель лабораторного стенда).

Основу сменного блока (см. рис. 1.) составляет изучаемый в лабораторной работе одноконтурный однокаскадный резонансный усилитель мощности (генератор с внешним возбуждением), выполненный на радиочастотном биполярном транзисторе проводимости п-р-п средней мощности. В исследуемом ГВВ, биполярный транзистор включен по схеме с общим эмиттером.

Входная (базовая) цепь исследуемого ГВВ выполнена по параллельной схеме питания. Форму и величину напряжения возбуждения можно контролировать внешним радиочастотным вольтметром при помощи контрольного гнезда «КТ1». Конденсатор С1 – разделительный (обеспечивает гальваническую развязку с предшествующим каскадом). Блокировочный дроссель L1 препятствует закорачиванию напряжения возбуждения на цепь внешнего источника смещения, а вспомогательный блокировочный конденсатор С2 закорачивает на общий провод (корпус) остаточное переменное напряжение, возникающее в цепи источника смещения из-за неидеальности блокировочного дросселя. Потенциометр R1, установленный в цепь источника внешнего смещения, позволяет регулировать напряжение смещения  $E_{см}$  (прикладываемого к базо-эмиттерному переходу транзистора) в достаточно широких пределах, обеспечивая возможность регулировки угла отсечки исследуемого ГВВ. Регулировка напряжения смещения  $E_{см}$  осуществляется ручкой "РЕГ  $E_{см}$ ", расположенной на сменном блоке. Величину этого напряжения можно контролировать при помощи встроенного в лабораторный стенд тестера (правая панель стенда), который подключается к сменному блоку при помощи контрольных гнезд «КТ2». Следует помнить, что полярность напряжения смещения при его регулировке может изменяться!

Выходная цепь исследуемого генератора с внешним возбуждением также выполнена по параллельной схеме питания. Управляемый источник напряжения коллекторного питания  $E_k$  (на блоке обозначено  $U_k$ ), в зависимости от положения кнопочного переключателя, выдает три дискретных стабилизированных значения питающего напряжения  $E_c$ : 5 В, 7,5 В и 10 В. Последовательно в цепь источника питания  $E_k$  ( $U_k$ ) включен амперметр  $I_k$ , контролирующий величину постоянной составляющей коллекторного тока  $I_{к0}$ , расположенный на сменном блоке (Ток коллектора  $I_k$ , мА). Блокировочный дроссель L2, включенный последовательно в цепь источника питания  $E_k$

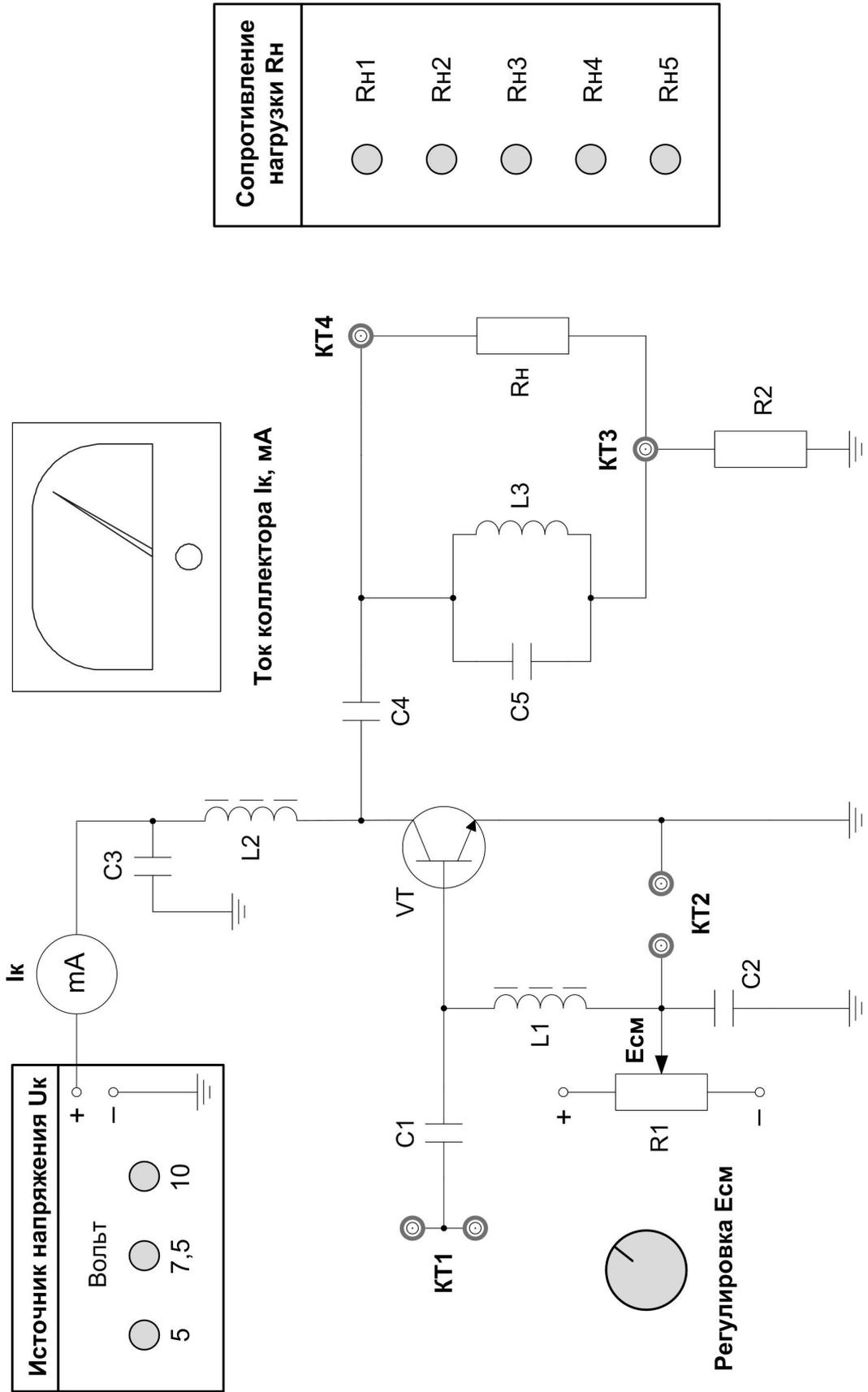


Рис. 1. Сменный блок «Генератор с внешним возбуждением»

(Ук), препятствует закорачиванию через этот источник питания переменных составляющих коллекторного тока, а вспомогательный блокировочный конденсатор С3 снимает с цепи питания и амперметра  $I_k$  остаточное переменное напряжение, возникающее за счет неидеальности дросселя. Конденсатор С4 является разделительным и препятствует короткому замыканию источника коллекторного питания  $E_k$  (Ук) на элементы колебательной системы (параллельного резонансного колебательного контура L3C5) и нагрузку  $R_n$ . Форму переменного напряжения в коллекторной цепи транзистора можно контролировать осциллографом при помощи контрольного гнезда «КТ4». К колебательному контуру, образованному катушкой индуктивности L3 и конденсатором С5 параллельно подключается резистивная коммутируемая нагрузка  $R_n$ , которая может быть установлена кнопочным переключателем в одно из пяти положений:  $R_{n1} = 51 \text{ Ом}$ ;  $R_{n2} = 100 \text{ Ом}$ ;  $R_{n3} = 200 \text{ Ом}$ ;  $R_{n4} = 510 \text{ Ом}$ ; а положение  $R_{n5}$  соответствует холостому ходу, когда резистивная нагрузка образуется только за счет диссипативных (тепловых) потерь в элементах колебательного контура L3C5 (непосредственно нагрузочный резистор  $R_n$  в этом положении отсутствует) и составляет более 10 кОм. Настройка колебательного контура L3C5 в резонанс с частотой внешнего возбуждения осуществляется регулировкой (подбором) частоты внешнего возбуждения при помощи соответствующих органов управления встроенного в лабораторный стенд генератора ВЧ (левая панель лабораторного стенда).

Для обеспечения возможности контроля формы коллекторного тока транзистора, в лабораторном макете (сменном блоке) применен специальный резистор-шунт R2 сопротивлением 1 Ом, через который протекают все переменные составляющие (первая и высшие гармоники) коллекторного тока. Падение напряжения на этом резисторе-шунте (численного равное протекающему через резистор-шунт 1 Ом току, в соответствии с законом Ома для участка цепи) можно наблюдать на экране осциллографа при помощи контрольного гнезда «КТ3».

## МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### *ПРИ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКЕ:*

1. Изучение принципов работы резонансного усилителя мощности (ГВВ) и его принципиальной схемы следует проводить с помощью учебников [1] (стр. 16-18) и [2] (стр. 31-37). Изучение способов построения цепей питания ГВВ и назначения элементов схем также осуществляется по учебникам [1] (стр. 163-176) и [2] (стр. 117-119). Также целесообразно пользоваться конспектом лекций.

2. Изучение режимов работы усилителя мощности (ГВВ) при работе с отсечкой выходного тока также следует проводить с помощью учебников [1] (стр. 23-25, 41-46) и [2] (стр. 50-57) и конспекта лекций.

3. Изучение динамических характеристик усилителя мощности (ГВВ) и режимов его работы при различной степени напряженности также следует проводить с помощью учебников [1] (стр. 22-28, 36-41) и [2] (стр. 50-57) и конспекта лекций.

4. Изучение зависимости режимов работы усилителя мощности (ГВВ) при изменении величин питающих напряжений, напряжения возбуждения и сопротивления нагрузки (включая нагрузочные характеристики) также проводится с помощью учебников [1] (стр. 58-64) и [2] (стр. 58-61) и конспекта лекций.

5. Изучение зависимости режима работы от величины напряжения возбуждения и амплитудных характеристик усилителя мощности (ГВВ) проводится с помощью учебников [1] (стр. 58-60) и [2] (стр. 302-304), а также конспекта лекций.

6. Ознакомление с лабораторным макетом (сменным блоком) проводится с помощью настоящего описания – см. выше.

*ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ:*

**ВНИМАНИЕ:** Включать аппаратуру и приступать к экспериментальной работе можно только после получения разрешения ведущего занятия преподавателя!

Подготовка лабораторной установки к работе:

а) Соединить выход встроенного генератора НЧ (левая панель лабораторного стенда) с гнездом «КТ1» сменного блока. Однополюсные вилки кабеля на стороне генератора НЧ следует устанавливать в гнездо «- 20 дБ» и в гнездо, обозначенное значком соединения с корпусом.

б) Установить на гнездо «КТ4» сменного блока коаксиальный тройник. К одному из выходов этого тройника подключить вход внешнего вольтметра ВЗ-39 (или ВЗ-38).

в) Ко второму выходу тройника, установленного в разъем КТ4 сменного блока необходимо подключить вход «СН1» осциллографа ОСУ-20.

г) К разъему «КТ3» сменного блока подключить вход «СН2» осциллографа ОСУ-20.

д) Соединить гнезда «КТ2» сменного блока с гнездами для измерения напряжений встроенного тестера (правая панель лабораторного стенда). Однополюсный разъем, соединяемый с тем гнездом «КТ2», которое обозначено значком соединения с корпусом (эмиттер транзистора VT) следует соединить с гнездом «СОМ» тестера. Второе гнездо «КТ2» следует соединить с гнездом «V/Ω» тестера.

е) На лабораторном макете (сменном блоке) установить органы регулировки в следующие положения: переключатель коллекторного питающего напряжения Ек («Источник напряжения Ук») установить в положение "7,5 В", переключатель нагрузочных сопротивлений «Сопротивление нагрузки Rн» следует установить в положение «Rн3», а ручку "Регулировка Есм" – установить в среднее положение.

ж) На встроенном генераторе НЧ (левая панель лабораторного стенда) установить 4-й диапазон, нажав соответствующую кнопку.

з) На внешнем вольтметре ВЗ-39 (или ВЗ-38) установить ручкой переключателя предел измерения «10 В».

и) Органы управления осциллографом ОСУ-20 выставить в следующие начальные положения:

1-й ряд сверху: все регулировочные ручки следует установить в средние положения;

2-й ряд сверху: ручка Focus устанавливается в положении, соответствующем наибольшей четкости изображения (изначально ее можно установить в среднее положение), переключатель «Mode» — в положение «Dual», кнопка «NORM / INV» — в нажатом положении; кнопка «X1 / X5» — в нажатом положении; кнопка «Slope» — в нажатом положении; кнопка «X1 / X10» — в ненажатом положении; кнопка «Cal / Var» — в ненажатом положении.

3-й ряд сверху: переключатели масштаба измерения по вертикали «VOLTS / DIV» (большие ручки) следует установить в положения «10» (левый) и «1» (правый), ориентируясь на шкалы, расположенные левее этих ручек (малые ручки следует установить в среднее положение); переключатель «Mode» — в положении «Auto»; переключатель частоты горизонтальной развертки «TIME / DIV» следует установить в положение «5 us»;

4-й ряд сверху: оба переключателя «AC / GND / DC» следует установить в положение «DC»; переключатель «TRIGGER SOURCE» следует установить в положение «CH1».

к) На встроенном тестере (правая панель лабораторного стенда) следует повернуть ручку переключателя на предел измерения постоянного напряжения "2V=".

л) Получив разрешение ведущего занятия преподавателя, включить лабораторный стенд (клавиша «СЕТЬ» в правом нижнем углу лабораторного стенда), встроенный генератор НЧ (левая панель лабораторного стенда), встроенный тестер (правая панель лабораторного стенда) а также осциллограф ОСУ-20 и внешний радиочастотный

вольтметр ВЗ-39 (или ВЗ-38). ВНИМАНИЕ: рубильники на силовом электрошите разрешается включать только преподавателю, инженеру или лаборанту!

м) Вращая ручку «Регулировка Есм» на сменном блоке, добиться напряжения смещения на базе транзистора VT ровно 0,7 В, ориентируясь на показания встроенного тестера (правая панель лабораторного стенда).

н) На встроенном генераторе НЧ (левая панель лабораторного стенда) при помощи ручек «ЧАСТОТА» «ГРУБО» и «ТОЧНО» установить рабочую частоту 100 кГц, ориентируясь по показаниям встроенного в этот прибор индикатора частоты. Ручкой "АМПЛИТУДА" этого же прибора установить амплитуду генерируемого сигнала величиной 3 В, добиваясь соответствующих показателей стрелочного прибора-индикатора, установленного на панели встроенного генератора НЧ. Если установить такую величину выходного напряжения оказывается невозможным, следует переключить однополюсный штекер кабеля (идущего от гнезда «КТ1» сменного блока к генератору НЧ) из гнезда «-20 дБ» в гнездо «0 дБ». При этом амплитуду генерируемого сигнала следует установить величиной 0,3 В, ориентируясь на показания того же стрелочного прибора-индикатора.

#### **7. Экспериментальное исследование зависимости величины угла отсечки коллекторного тока от величин напряжения смещения и напряжения возбуждения. Наблюдение осциллограмм коллекторного тока, соответствующие различным углам отсечки.**

При правильном выполнении процедур подготовки и предварительной настройки лабораторного оборудования (см. выше), на осциллографе будут наблюдаться две осциллограммы: осциллограмма гармонического напряжения на выходном электроде (коллекторе) транзистора (канал осциллографа «СН1»), а также импульсы выходного (коллекторного) тока (канал осциллографа «СН2»), соответствующие работе с отсечкой выходного тока (см. выше разделы теоретической подготовки). Ручками регулировки, осциллографа «POSITION», расположенными в верхнем ряду, следует отцентрировать наблюдаемое на экране изображение (по горизонтали и по вертикали), а также развести две наблюдаемые осциллограммы по вертикали, расположив их одну над другой (в произвольном порядке). Ручкой осциллографа «INTEN», расположенной в верхнем ряду, установить адекватную яркость изображения, а ручкой «FOCUS», расположенной ниже, - сфокусировать изображение. В случае, если изображение нестатичное (движется по горизонтали), следует отрегулировать положения ручек «TRIG LEVEL» и «VARIABLE», также расположенных в верхнем ряду.

Регулируя положение ручки «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ (левая панель лабораторного стенда), следует добиться появления неглубокой впадины в вершине импульса выходного (коллекторного) тока, наблюдаемого на осциллографе, что соответствует слабоперенапряженному режиму работы исследуемого каскада. Вращая ручку «ЧАСТОТА ТОЧНО» на этом же генераторе НЧ, следует добиться того, чтоб наблюдаемая впадина в вершине импульса коллекторного тока стала симметричной. Это будет соответствовать точной настройке колебательного контура исследуемого каскада в резонанс. Показание встроенного в генератор НЧ индикатора частоты следует записать. В дальнейшем (за исключением особо оговоренных случаев) эту частоту следует поддерживать неизменной при проведении всех экспериментов.

Убедиться, что на экране осциллографа видны два два периода наблюдаемых коллекторного тока и коллекторного напряжения. Полученные осциллограммы следует зарисовать, соблюдая масштаб. Пользуясь масштабной сеткой осциллографа, следует определить число делений, соответствующих одному полному периода наблюдаемых процессов. Аналогично, пользуясь масштабной сеткой осциллографа, следует оценить число делений соответствующих длительности наблюдаемого импульса коллекторного тока, начиная от предшествующей отсечки и заканчивая последующей отсечкой. С учетом того, что длительность периода гармонического колебания составляет  $360^\circ$ , по

результатам измерений (в делениях масштабной сетки осциллографа) длительности периода и длительности импульса коллекторного тока, через составление и решение пропорции следует определить величину угла отсечки в градусах. При этом не следует забывать, что под углом отсечки понимается половина длительности импульса. Убедиться, что полученное значение угла отсечки близко к  $90^{\circ}$ . Если результат заметно отличается от требуемого, следует, при необходимости, откорректировать напряжение смещения на базе ручкой «Регулировка Есм» сменного блока. Зафиксировать величину напряжения смещения (пользуясь показаниями встроенного тестера на правой панели лабораторного стенда), соответствующего углу отсечки, близкому к  $90^{\circ}$ .

Вращая ручку «Регулировка Есм» на сменном блоке, следует убедиться, что угол отсечки в небольших пределах (что связано с особенностями физики работы биполярного транзистора) изменяется. Зарисовать осциллограммы, соответствующие уменьшению и увеличению напряжения смещения, относительно исходного положения. Вычислить (повторив описанные выше измерения и расчеты) величины углов отсечки, соответствующие более низкому (относительно исходного значения) и более высокому значениям напряжения смещения. Сформулировать и записать выводы о характере зависимости угла отсечки выходного (коллекторного) тока от величины напряжения смещения на базе транзистора.

Установить ручкой «Регулировка Есм» режим работы исследуемого каскада с углом отсечки меньше  $90^{\circ}$  (ориентируясь на наблюдаемую осциллограмму коллекторного тока). Изменяя ручкой «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ (левая панель лабораторного стенда) наблюдать, как изменяется величина угла отсечки при изменении амплитуды напряжения возбуждения. Сформулировать и записать соответствующий вывод. Повторить этот эксперимент, установив режим работы исследуемого каскада с углом отсечки больше  $90^{\circ}$ , сформулировав и записав аналогичный вывод. Вернуть ручку «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ в первоначальное положение.

Установить ручкой «Регулировка Есм» исходное напряжение смещения (соответствующее углу отсечки, близкому к  $90^{\circ}$ ).

#### **8. Наблюдение осциллограмм коллекторного тока, соответствующих различной напряженности режима работы усилителя мощности (ГВВ).**

Не меняя настроек, полученных при выполнении предшествующего пункта задания, убедиться (по наблюдаемым осциллограммам), что угол отсечки импульсов коллекторного тока был близок к  $90^{\circ}$ , и при этом в вершине импульса этого тока наблюдается симметричная впадина (провал) небольшой глубины. При необходимости, симметричности впадины можно добиться вращая ручку «ЧАСТОТА ТОЧНО» встроенного генератора НЧ (левая панель лабораторного стенда), а глубины впадины можно отрегулировать ручкой «АМПЛИТУДА» этого же прибора. Зарисовать полученную осциллограмму. Такой режим работы усилителя мощности (ГВВ) называют слабоперенапряженным.

Регулируя (ручкой «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ) величину напряжения возбуждения в сторону уменьшения, добиться полного исчезновения впадины (провала) в наблюдаемых импульсах коллекторного тока. Зарисовать полученную осциллограмму. Такой режим работы ГВВ называется недонапряженным.

Слегка увеличивая (вращая ту же ручку «АМПЛИТУДА») напряжение возбуждения, добиться такой формы наблюдаемых импульсов тока, когда вершина импульса уплощается (по сравнению с остроконечной вершиной при недонапряженном режиме), но впадины (провала) в импульсах еще нет. Зарисовать полученную осциллограмму. Такой режим работы усилителя мощности (ГВВ) называется граничным.

Увеличивая (той же ручкой «АМПЛИТУДА») напряжение возбуждения, добиться глубокого провала в наблюдаемых импульсах тока, так, чтобы глубина провала достигала основания импульса. Зарисовать полученную осциллограмму. Еще более увеличивая

напряжение возбуждения, добиться того, чтоб провал в импульсах тока стал немного глубже их основания. Если этого сделать не удастся, необходимо дополнительно увеличить сопротивление нагрузки  $R_n$  (переведя переключатель нагрузочных сопротивлений «Сопротивление нагрузки  $R_n$ » из положения « $R_{n3}$ » в положение « $R_{n4}$ »). Также можно переключить напряжение коллекторного питания «Источник напряжения  $U_k$ » на более низкое. Зарисовать полученную осциллограмму. Рассмотренные режимы работы усилителя мощности (ГВВ) относятся к сильноперенапряженным.

Восстановить исходные настройки макета (т.е. добиться небольшой глубины впадины (провала) в импульсах тока, и вернуть исходные значения сопротивления нагрузки и напряжения коллекторного питания, ежели они изменялись.

Ручкой «ЧАСТОТА ТОЧНО» встроенного генератора НЧ (левая панель лабораторного стенда) уменьшить частоту напряжения возбуждения так, чтоб в наблюдаемых осциллограммах импульсов коллекторного тока наблюдался перекося впадины (провала), относительно вершины импульса. Это будет соответствовать работе при расстроенном «вверх» колебательном контуре. Зарисовать наблюдаемую осциллограмму. Повторить эксперимент для случая работы при расстроенном «вниз» колебательном контуре, для чего установить частоту напряжения возбуждения несколько выше исходной, наблюдая перекося впадины (провала) импульса коллекторного тока в противоположную сторону. Зарисовать наблюдаемую осциллограмму. Сформулировать и записать выводы по полученным результатам. Вернуть исходную установку частоты напряжения возбуждения, вращая ручку «ЧАСТОТА ТОЧНО» встроенного генератора НЧ.

#### **9. Экспериментальное исследование зависимости степени напряженности режима усилителя мощности (ГВВ) при изменении величин питающих напряжений, напряжения возбуждения и сопротивления нагрузки.**

Не меняя предыдущих настроек, добиться (например, регулируя напряжение возбуждения) глубины впадины (провала) импульса коллекторного тока, достигающей половины высоты импульса. Убедиться (по наблюдаемой осциллограмме), что исследуемый каскад работает в режиме с отсечкой выходного (коллекторного) тока с углом отсечки, близким к  $90^\circ$  (при необходимости, отрегулировать напряжение смещения ручкой "Регулировка Есм").

Изменяя в небольших пределах напряжение возбуждения (ручкой "АМПЛИТУДА" на встроенном генераторе НЧ), наблюдать за изменениями глубины впадины (провала) в импульсах коллекторного тока, наблюдаемых на экране осциллографа. Сформулировать и записать выводы о влиянии величины напряжения возбуждения на глубину впадины (провала) в импульсах коллекторного тока и степень напряженности режима усилителя мощности (ГВВ). Восстановить исходную настройку исследуемого каскада (впадина (провал) в импульсе коллекторного тока должна достигать примерно середины высоты (размаха) импульса), прежде всего вернув исходное положение ручки "АМПЛИТУДА" на встроенном генераторе НЧ.

Изменяя в небольших пределах напряжение смещения (ручкой "Регулировка Есм" на сменном блоке), наблюдать за изменениями глубины впадины (провала) в импульсах коллекторного тока, наблюдаемых на экране осциллографа. Сформулировать и записать выводы о влиянии величины напряжения смещения на глубину впадины (провала) в импульсах коллекторного тока и степень напряженности режима усилителя мощности (ГВВ). Восстановить исходную настройку исследуемого усилителя мощности (ГВВ) (впадина (провал) в импульсе коллекторного тока должна достигать примерно середины высоты (размаха) импульса, а угол отсечки должен быть близким к  $90^\circ$ ), прежде всего вернув в исходное положение ручку «Регулировка Есм».

Дискретно изменяя напряжение питания коллекторной цепи (переключателем «Источник напряжения  $U_k$ » на сменном блоке), поочередно устанавливая значения 5 В и

10 В, наблюдать за изменениями глубины впадины (провала) в импульсах коллекторного тока, наблюдаемых на экране осциллографа. Сформулировать и записать выводы о влиянии величины напряжения коллекторного питания на глубину впадины (провала) в импульсах коллекторного тока и степень напряженности режима усилителя мощности (ГВВ). Восстановить исходную настройку исследуемого усилителя мощности (ГВВ) (впадина (провал) в импульсе коллекторного тока должна достигать примерно середины высоты (размаха) импульса), прежде всего вернув исходное напряжение коллекторного питания, равное 7,5 В.

Дискретно изменяя величину сопротивления нагрузки (переключателем «Сопротивление нагрузки  $R_n$ », устанавливая его поочередно во все положения от « $R_{n1}$ » до « $R_{n5}$ »), наблюдать за изменениями глубины впадины (провала) в импульсах коллекторного тока, наблюдаемых на экране осциллографа. Сформулировать и записать выводы о влиянии величины сопротивления нагрузки на глубину впадины (провала) в импульсах коллекторного тока и степень напряженности режима усилителя мощности (ГВВ). Восстановить исходную настройку исследуемого усилителя мощности (ГВВ) (впадина (провал) в импульсе коллекторного тока должна достигать примерно середины высоты (размаха) импульса), прежде всего вернув исходное положение (« $R_{n3}$ ») переключателя «Сопротивление нагрузки  $R_n$ ».

#### **10. Наблюдение на экране осциллографа динамических характеристик усилителя мощности (ГВВ), соответствующих разным режимам его работы.**

Не изменяя настроек лабораторного макета (исследуемый каскад работает в режиме с отсечкой выходного тока, угол отсечки близок к  $90^\circ$ , глубина впадины (провала) составляет примерно половину высоты его импульса, а сама впадина симметрична), изменить настройку осциллографа ОСУ-20: ручку управления частотой развертки осциллографа "TIME / DIV" (3-й ряд сверху) следует установить в положение "X – Y". При этом, на вертикальные пластины осциллографа поступает напряжение пропорциональное коллекторному току, а на горизонтальные – переменное коллекторное напряжение.

Пронаблюдать и зарисовать полученную динамическую характеристику. Для управления размерами получаемого на экране осциллографа ОСУ-20 изображения, следует пользоваться ручками грубой (большими) и плавной (малыми) регулировки масштаба / усиления «VOLTS / DIV» соответствующих каналов "CH1" и "CH2" (органы управления каналом "CH1" влияют на масштаб по горизонтали, а "CH2" — на масштаб по вертикали). В крайнем случае, если динамическая характеристика не наблюдается или не соответствует масштабам экрана осциллографа, можно изменить положение кнопки «X1 / X5». При необходимости сдвига изображения динамической характеристики по горизонтали или по вертикали следует пользоваться соответствующими органами управления «POSITION» осциллографа. Если динамическая характеристика сильно «раздваивается», следует уточнить настройку в резонанс колебательного контура, немного изменив положение ручки «ЧАСТОТА ТОЧНО» (на встроенном генераторе НЧ), добиваясь приближения наблюдаемой на экране осциллографа динамической характеристики к ломаной линии. ВНИМАНИЕ: После завершения выполнения этого пункта (10) лабораторного задания, обязательно нужно восстановить исходные положения всех вышеперечисленных органов управления осциллографа ОСУ-20: «VOLTS / DIV», "TIME / DIV", «X1 / X5».

Изменяя в небольших пределах величину напряжения возбуждения (ручкой "АМПЛИТУДА" встроенного генератора НЧ, наблюдать за изменением формы динамической характеристики. Зарисовать две-три характерные динамические характеристики, соответствующие разным режимам усилителя мощности (ГВВ) по степени напряженности. Вернуть (ручкой «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ) исходное значение напряжения возбуждения.

Изменяя в небольших пределах величину напряжения смещения (ручкой "Регулировка Есм" на сменном блоке, наблюдать за изменением формы динамической характеристики. Зарисовать две-три характерные динамические характеристики, соответствующие разным режимам усилителя мощности (ГВВ) по углу отсечки. Вернуть (ручкой «Регулировка Есм» сменного блока) исходное значение напряжения смещения.

Изменяя сопротивление нагрузки  $R_n$  (переключая кнопки переключателя «Сопротивление нагрузки  $R_n$ », устанавливая его поочередно во все положения от « $R_{n1}$ » до « $R_{n5}$ »), наблюдать за изменением формы динамической характеристики. Зарисовать две-три характерные динамические характеристики, соответствующие разным режимам усилителя мощности (ГВВ) по степени напряженности. Вернуть исходное значение сопротивления нагрузки.

Вернуть изначальные установки органов управления осциллографом ОСУ-20.

#### **11. Экспериментальное исследование нагрузочных характеристик резонансного усилителя мощности (ГВВ).**

Убедиться, что исследуемый каскад работает в исходном режиме с отсечкой выходного (коллекторного) тока и, при необходимости, подрегулировать напряжение смещения ручкой "Регулировка Есм" сменного блока, добиваясь угла отсечки, близкого к  $90^\circ$ . Убедиться, что переключатель «Сопротивление нагрузки  $R_n$ » на сменном блоке установлен в положение " $R_{n3}$ ", а переключатель питающего напряжения «Источник напряжения  $U_k$ » - в положение «7,5 В». Убедиться, что в наблюдаемом импульсе коллекторного тока наблюдается неглубокая впадина (провал) его вершины. В случае отсутствия впадины (провала) следует увеличить амплитуду напряжения возбуждения (ручкой «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ). Убедиться, что впадина (провал) в наблюдаемых импульсах коллекторного тока симметричная. В случае несимметричности следует немного откорректировать частоту внешнего возбуждения, поворачивая ручку «ЧАСТОТА ТОЧНО» встроенного генератора НЧ (левая панель лабораторного стенда).

Ручкой "АМПЛИТУДА" на встроенном генераторе НЧ (левая панель лабораторного стенда) установить такое напряжение возбуждения, чтобы обеспечить граничный режим работы ГВВ (при этом впадины (провала) в наблюдаемых на осциллографе импульсах коллекторного тока быть не должно, однако вершина импульса должна быть немного уплощенной). В процессе дальнейшего выполнения этого пункта задания важно следить за тем, чтобы напряжение питания, напряжение смещения и напряжение и частота возбуждения исследуемого каскада поддерживались неизменными!

Изменяя величину сопротивления нагрузки исследуемого каскада, для чего следует поочередно устанавливать все возможные положения переключателя «Сопротивление нагрузки  $R_n$ » от « $R_{n1}$ » до « $R_{n4}$ » (внимание: положение « $R_{n5}$ » в этом эксперименте не используется), в пределах от 51 Ом до 510 Ом, следует фиксировать и записывать (в приведенную ниже таблицу) соответствующие этим сопротивлениям нагрузки величины выходного напряжения  $U_{вых.эфф}$  исследуемого каскада (отсчитывая показания внешнего радиочастотного вольтметра ВЗ-39 или ВЗ-38) и величину постоянной составляющей тока коллектора  $I_{ко}$  (отсчитывая показания амперметра «Ток коллектора  $I_k$ , мА» на сменном блоке), потребляемого транзистором от источника коллекторного питания. По окончании измерений следует вернуть переключатель сопротивления нагрузки  $R_n$  в исходное положение « $R_{n3}$ », а также немного увеличить амплитуду напряжения возбуждения (ручкой «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ), добиваясь появления неглубокой впадины (провала) в вершине наблюдаемых импульсов коллекторного тока, восстановив тем самым исходное состояние лабораторной установки, необходимое для выполнения следующего пункта лабораторного задания.

По полученным и записанным в таблицу результатам измерений, рассчитать для каждого значения сопротивления нагрузки величины полезной и потребляемой мощности, мощности тепловых потерь на коллекторе транзистора и коэффициента полезного

действия исследуемого каскада, заполнив соответствующие строки таблицы. Расчет потребляемой мощности  $P_{\text{потр}} (P_0)$  от источника питания ведется обычным способом: величина напряжения коллекторного питания (установленная переключателем "Источник напряжения  $U_k$ " на сменном блоке) умножается на измеренную величину постоянного тока коллектора  $I_{ko}$  (эту величину необходимо предварительно пересчитать из миллиампер в амперы). При вычислении полезной мощности  $P_{\text{полезн}} (P_1)$ , необходимо учесть, что радиочастотный вольтметр отградуирован не в амплитудных, а в действующих (эффективных) значениях напряжения. С учетом этого, полезная мощность, отдаваемая исследуемым каскадом усиления мощности (ГВВ) вычисляется как отношение квадрата эффективного выходного напряжения к величине сопротивления нагрузки (без коэффициента 0,5). Мощность тепловых потерь на транзисторе определяется разностью значений потребляемой и полезной мощности, а коэффициент полезного действия выходной (коллекторной) цепи, - как отношение полезной мощности к потребляемой.

$R_n$ , Ом	$R_{n1} = 51$ Ом	$R_{n2} = 100$ Ом	$R_{n3} = 200$ Ом	$R_{n4} = 510$ Ом
$U_{\text{вых.эфф}}$ , В				
$I_{ko}$ , мА				
$P_{\text{полезн.}}$ , Вт				
$P_{\text{потр.}}$ , Вт				
$P_{\text{потерь}}$ , Вт				
КПД, %				

По результатам измерений и расчетов, необходимо построить графики зависимости всех рассчитанных мощностей и КПД исследуемого каскада усиления мощности (ГВВ) от величины сопротивления нагрузки.

## 12. Экспериментальное исследование амплитудных характеристик резонансного усилителя мощности (ГВВ) при разных углах отсечки.

Убедиться, что лабораторный макет находится в исходном режиме, когда все органы управления приведены в положения, описанные в начале указаний к предыдущему пункту лабораторного задания. Обратит особое внимание, чтоб угол отсечки наблюдаемого на экране осциллографа коллекторного тока был близок к  $90^\circ$ . При необходимости, следует откорректировать величину напряжения смещения (ручкой «Регулировка Есм» сменного блока).

Поворачивая ручку "АМПЛИТУДА" генератора НЧ (левая панель лабораторного стенда) вправо и влево, убедиться, что впадина (провал) в вершине наблюдаемых импульсов коллекторного тока возникает при значениях амплитуды напряжения возбуждения (контролируемой стрелочным индикатором на панели встроенного генератора НЧ), превышающих приблизительно  $2/3$  от максимально возможного. Если впадина «провал» в наблюдаемых импульсах коллекторного тока возникает при значительно более низких значениях амплитуды напряжения возбуждения, следует переключить сопротивление нагрузки каскада из положения « $R_{n3}$ » в положение « $R_{n2}$ ». Если же, наоборот, впадина (провал) в наблюдаемом импульсе коллекторного тока появляется только при максимальном значении напряжения возбуждения (при крайнем правом положении ручки «АМПЛИТУДА»), следует переключить сопротивление нагрузки каскада из положения « $R_{n3}$ » в положение « $R_{n4}$ ».

Установить нулевое напряжение возбуждения, повернув ручку «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ в крайнее левое положение. Для исследования амплитудной характеристики лабораторного усилителя мощности (ГВВ) необходимо изменять амплитуду напряжения возбуждения, вращая ручку «АМПЛИТУДА» встроенного генератора НЧ, начиная от нулевого значения амплитуды до максимально возможного, устанавливая поочередно 10-15 значений. Измерение амплитуды напряжения возбуждения осуществляется стрелочным индикатором, установленным на панели

встроенного генератора НЧ. Его показания следует записывать в приведенную ниже таблицу (в строчку « $U_{гнч}, B$ »). Учитывая подключение генератора НЧ к исследуемому каскаду усиления мощности (ГВВ) через выход «-20 дБ», амплитуда напряжения возбуждения  $U_{вх.амп.}$ , подаваемая на вход исследуемого каскада будет в 10 раз меньше измеренного значения (в случае, когда используется выход «0 дБ», она будет равна измеренному значению). Эту величину следует записывать в строку « $U_{вх.амп.}, B$ » той же таблицы. Измерение выходного напряжения исследуемого усилителя мощности (ГВВ) следует проводить при помощи внешнего радиочастотного вольтметра ВЗ-39 (или ВЗ-38), занося его показания (с учетом установленной шкалы измерений) в строчку « $U_{эфф}, B$ » таблицы. Поскольку радиочастотный вольтметр измеряет не амплитудные, а эффективные (действующие) значения напряжения, то для расчета амплитудного значения  $U_{вых.}$ , показания вольтметра  $U_{эфф}$  должны быть домножены на  $\sqrt{2}$ , после чего должны быть занесены в строку « $U_{вых.амп.}, B$ » таблицы.

$U_{гнч}, B$												
$U_{вх.амп.}, B$												
$U_{эфф}, B$												
$U_{вых.амп.}, B$												

В результате, в таблицу должны быть занесены результаты измерений и вычислений амплитуды входного напряжения (напряжения возбуждения)  $U_{вх.амп.}=0,1(U_{гнч})$  (в случае, если используется выход генератора НЧ «0 дБ», коэффициент 0,1 отбрасывается), амплитуды выходного напряжения  $U_{вых.амп.}=\sqrt{2}(U_{эфф})$ . При этом значения напряжения коллекторного питания и сопротивления нагрузки должны соответствовать установленным на сменном блоке во время проведения эксперимента. По результатам измерений и расчетов, необходимо построить график зависимости  $U_{вых.амп.}=f(U_{вх.амп.})$ , - экспериментальную амплитудную характеристику. Сформулировать и записать выводы о линейности или нелинейности полученной амплитудной характеристики (для ее различных областей: малых, средних и больших амплитуд).

Повторить процедуру исследования и построения амплитудной характеристики для двух других значений угла отсечки, - соответственно несколько больше  $90^{\circ}$  (порядка  $100^{\circ}$ ÷ $120^{\circ}$ ) и меньше  $90^{\circ}$  (порядка  $70^{\circ}$ ÷ $80^{\circ}$ ). Для этого, предварительно восстановив начальные установки органов управления сменного блока и встроенного генератора НЧ, следует изменить (ручкой «Регулировка Есм» на сменном блоке) напряжение смещения, при котором будет достигаться требуемый угол отсечки (ориентируясь по наблюдаемой осциллограмме импульсов коллекторного тока). Для каждого из двух новых значений угла отсечки следует провести (по вышеизложенной методике) экспериментальное исследование амплитудной характеристики, заполняя таблицы, аналогичные приведенным выше. По полученным результатам следует построить графики еще двух амплитудных характеристик исследуемого каскада, соответствующих режимам классов АВ и С. Сформулировать и записать выводы о линейности или нелинейности полученной амплитудной характеристики (для ее различных областей: малых, средних и больших амплитуд) для случаев работы в этих двух режимах. Сформулировать и записать выводы о возможных искажениях сигнала с меняющейся амплитудой при работе в режимах классов АВ и С.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) Цель работы;
- 2) Принципиальную схему лабораторного макета (сменного блока);
- 3) Структурную схему лабораторного эксперимента (с указанием подключения измерительной аппаратуры к исследуемому каскаду усиления мощности (ГВВ));

- 4) Осциллограммы импульсов коллекторного тока при разных углах отсечки и разной степени напряженности режима исследуемого усилителя мощности (ГВВ), а также при расстройке колебательного контура;
- 5) Выводы о зависимости угла отсечки от величин напряжений смещения и возбуждения;
- 6) Выводы о зависимости степени напряженности режима усилителя мощности (ГВВ) от величин напряжений смещения, возбуждения, коллекторного питания, а также сопротивления нагрузки;
- 7) Экспериментальные динамические характеристики для разных режимов работы усилителя мощности (ГВВ);
- 8) Результаты исследования нагрузочных характеристик усилителя мощности (ГВВ) – таблицу и графики;
- 9) Результаты экспериментального исследования амплитудных характеристик усилителя мощности (ГВВ) (таблицы и графики амплитудных характеристик) при трех разных значениях угла отсечки;
- 10) Выводы о степени линейности полученных амплитудных характеристик и о возможных нелинейных искажениях при усилении колебаний с меняющейся амплитудой.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1) Нарисовать самостоятельно простейшую принципиальную схему резонансного усилителя мощности (ГВВ) на биполярном транзисторе с минимально необходимыми деталями. Показать пути прохождения постоянной и переменной составляющих тока базы, постоянной составляющей, первой и второй гармоник коллекторного тока.
- 2) Указать основные преимущества и недостатки биполярных транзисторов по сравнению с полевыми транзисторами и электронными лампами, применительно к построению усилителя мощности (ГВВ).
- 3) Нарисовать самостоятельно семейства выходных и проходных статических характеристик биполярного транзистора. Указать основные эквивалентные параметры таких транзисторов. Нарисовать простейшую схему замещения биполярного транзистора. Зарисовать и пояснить конструкцию мощного биполярного транзистора на основе гребенчатой многоэмиттерной структуры.
- 4) Пояснить, в чем состоят преимущества и недостатки резонансного построения усилителя мощности (ГВВ). Указать по какой причине, резонансное построение транзисторных усилителей мощности (ГВВ) не так широко распространено, как в случае построения усилителей мощности (ГВВ) на электронных лампах.
- 5) Пояснить особенности работы входной (базовой) цепи ГВВ на биполярном транзисторе. Указать особенности способов питания этих цепей.
- 6) Пояснить принцип работы выходной цепи усилителя мощности (ГВВ). Указать причины появления переменных составляющих выходного тока. Пояснить где и каким образом возникает переменная составляющая выходного напряжения.
- 7) Обосновать причину широкого применения в радиопередатчиках режимов работы усилителей мощности (ГВВ) с отсечкой выходного тока. Нарисовать примеры осциллограмм выходного тока при разных углах отсечки. Нарисовать примерный вид спектра такого тока.
- 8) Указать, по какой причине в резонансном усилителе мощности (ГВВ), независимо от формы выходного тока, форма выходного напряжения всегда близка к гармонической.
- 9) Показать при помощи статических характеристик, каким образом величина угла отсечки зависит от напряжений смещения и возбуждения.
- 10) Нарисовать примеры динамических характеристик усилителя мощности (ГВВ), соответствующих разным углам отсечки.
- 11) Нарисовать примеры динамических характеристик усилителя мощности (ГВВ), соответствующих разной напряженности режима.

- 12) Нарисовать несколько динамических характеристик, соответствующих разным значениям напряжения коллекторного питания. Показать, каким образом это напряжение влияет на режим работы усилителя мощности (ГВВ).
- 13) Нарисовать несколько динамических характеристик, соответствующих разным значениям напряжения внешнего возбуждения. Показать, каким образом это напряжение влияет на режим работы усилителя мощности (ГВВ).
- 14) Нарисовать несколько динамических характеристик, соответствующих разным значениям сопротивления нагрузки. Показать, каким образом это сопротивление влияет на режим работы усилителя мощности (ГВВ).
- 15) Нарисовать теоретический вид нагрузочных характеристик ГВВ. Пояснить ход этих кривых с точки зрения теории.
- 16) Пояснить, каким образом будут изменяться нагрузочные характеристики ГВВ при изменении величин напряжений питания и возбуждения.
- 17) Нарисовать и пояснить, каким образом будет изменяться форма импульса коллекторного тока усилителя мощности (ГВВ) при работе в слабоперенапряженном режиме на расстроенный колебательный контур.
- 18) Обосновать причины широкого применения в ГВВ граничного режима работы. Нарисовать динамическую характеристику, соответствующую граничному режиму при работе усилителя мощности (ГВВ) в классе С или в классе АВ.
- 19) Поясните, какие требования предъявляются к усилителям мощности (ГВВ) при усилении колебаний с меняющейся амплитудой.
- 20) Назовите основные причины нелинейных искажений при усилении колебаний с меняющейся амплитудой.
- 21) Дайте определение амплитудной характеристики усилителя и нарисуйте примерный ее вид для случая идеального линейного усилителя мощности.
- 22) Объясните, какие существуют ограничения на выбор угла отсечки усилителя мощности (ГВВ), работающего в режиме усиления колебаний с меняющейся амплитудой.
- 23) Объясните, какие существуют ограничения на выбор степени напряженности режима усилителя мощности (ГВВ), работающего в режиме усиления колебаний с меняющейся амплитудой.
- 24) Поясните, к каким искажениям амплитудной характеристики усилителя мощности (ГВВ) приводит неправильный выбор угла отсечки.
- 25) Поясните, к каким искажениям амплитудной характеристики усилителя мощности (ГВВ) приводит неправильный выбор степени напряженности режима.
- 26) Объясните, почему у усилителей мощности (ГВВ), работающих в качестве усилителей колебаний с меняющейся амплитудой, оказывается достаточно низкий коэффициент полезного действия.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ**

- 1) Радиопередающие устройства / В.В. Шахгильдян, В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин и др.; под ред. В.В. Шахгильдяна. Учебник для ВУЗов.- М.: Радио и связь, 1996 (2001).
- 2) М.С. Шумилин, О.В. Головин, В.П. Севальнев, Э.А. Шевцов – Радиопередающие устройства. Учебник для техникумов. М.: Радио и связь, 1990.
- 3) Проектирование радиопередатчиков / В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др.; под ред. В.В. Шахгильдяна. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Радио и связь, 2000.
- 4) Сборник описаний лабораторных работ «Радиопередатчики часть 3: Основы устройств генерирования и формирования радиосигналов». М.: Информсвязьиздат, 2007.