

ФГБОУВПО «Воронежский государственный  
технический университет»

Кафедра систем информационной безопасности

**111-2015**

## **Методические указания**

к выполнению лабораторной работы «Исследование электрических характеристик усилителя мощности» по дисциплинам «Устройства генерирования и формирования сигналов» для студентов специальности 210601.65 «Радиоэлектронные системы и комплексы», «Устройства передачи и приема сигналов в СПЦС» специальности 090302 «Информационная безопасность ТКС» и «Радиопередающие устройства» специальности 210400.62 «Радиотехника», профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов» очной и заочной форм обучения

Воронеж 2015

Составитель канд. техн. наук М.И. Бочаров

УДК 621.396.67

Методические указания по выполнению лабораторной работы №10 «Исследование усилителя мощности», по дисциплинам «Устройства генерирования и формирования сигналов» для студентов специальности 210601.65 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и направлению 210400.62 «Радиотехника», профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов», дисциплина «Радиопередающие устройства» / ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015, -23 с.

В методических указаниях содержатся краткие теоретические сведения о режимах работы усилителей мощности, построении их принципиальных схем и расчет энергетического режима, а также лабораторные, домашние задания и контрольные вопросы для допуска к лабораторной работе и ее защиты.

Предназначены для студентов третьего курса очной и заочной форм обучения.

Табл. 3. Ил. 5 Библиогр.: 6 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е.Д. Алперин.

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.Г. Остапенко.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета.

©ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015

## УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед началом выполнения работ необходимо:

1. Проверить наличие и надежность соединения лабораторной установки или радиостанции и измерительных приборов к клеммам «Нулевой провод».

2. Подачу электропитания на лабораторную установку или радиостанцию и измерительные приборы производить только после проверки преподавателем правильности выполненных соединений.

3. В случае неисправности лабораторной установки или измерительных приборов сообщить руководителю занятий. Устранять неисправности или производить какие-либо переключения, не предусмотренные работой, студенту запрещается.

4. При выполнении работы необходимо соблюдать меры предосторожности в соответствии с инструкцией по правилам техники безопасности в лаборатории устройств генерирования и формирования радиосигналов.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

##### 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ

###### 1.1 Цель работы:

изучить принцип работы усилителя мощности (УМ) – одного из типов генераторов с внешним возбуждением (ГВВ); приобрести навыки по схемотехническому анализу и расчету электрической принципиальной схемы УМ, а также исследованию его основных электрических характеристик; исследовать влияние напряжения возбуждения на режимы работы УМ.

1.2 При выполнении лабораторной работы используются следующие приборы и оборудование: лабораторная установка; вольтметр; осциллограф; электронный частотомер.

В качестве лабораторной установки используется стенд, в который вмонтирован блок усилителя мощности. На передней панели стенда расположены гнезда для подключения измерительной аппаратуры:

XS1 – для измерения уровня сигнала, подаваемого на вход УМ;

XS2 – для определения формы импульсов тока; протекающего через активный элемент (АЭ) каскада УМ;

XS3 – для измерения амплитуды напряжения на выходном электроде АЭ исследуемого каскада УМ.

XS4 – для измерения амплитуды напряжения на нагрузке исследуемого каскада.

Кроме этого на передней панели стенда расположен прибор для измерения постоянной составляющей выходного тока  $I_{\text{вых0}}$  транзистора исследуемого каскада УМ, постоянного напряжения на выходном электроде АЭ.

## 2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Изучить краткие теоретические сведения: уяснить принцип построения динамических и нагрузочных характеристик, зависимость формы импульсов выходного тока от сопротивления нагрузки и амплитуды напряжения возбуждения.

2.2. Произвести электрический расчет схемы исследуемого генератора в оптимальном режиме по исходным данным, приведены в табл. 1, в соответствии с заданным вариантом.

2.3. Нарисовать формы импульсов выходного тока АЭ, соответствующие недонапряженному (НР), критическому (КР) и перенапряженному (ПР) режимам его работы.

2.4. С использованием выходных статических характеристик АЭ и динамических характеристик пояснить как при изменении нагрузки осуществляется переход из недонапряженного режима в критический и далее в перенапряженный?

Таблица 1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Тип АЭ	КТ 928А	КТ 928А	КТ 928А	КТ 901А	КТ 901А	КТ 901А	КТ 646А	КТ 646А	КТ 646А	КТ 902А	КТ 902А	КТ 902А
Напряжение питания $E_{\text{п}}$ , В	18	19	20	20	22	24	18	20	22	21	22	23
Мощность в нагрузке, В	0,3	0,4	0,5	1,0	1,2	1,5	0,2	0,3	0,4	0,1	0,12	0,15
Угол отсечки $\theta$ , град	80	80	80	90	90	90	80	80	80	90	90	90
Спротивление нагрузки $R_{\text{н}}$ , Ом	100	75	50	50	75	100	50	75	100	400	300	250
Частота входного сигнала $F_{\text{св}}$ , МГц	3,4	3,6	3,8	1,8	2,0	2,2	4,3	4,5	4,7	1,8	2,0	2,2

### 3.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

3.1.При выполнении п.2.1 необходимо изучить теоретические сведения, приведенные в приложении 1 и [1...2].

3.2. При выполнении п.2.2 необходимо произвести электрический расчет принципиальной схемы исследуемого каскада (приложение 2, рис.П2.1.). Для этого необходимо воспользоваться исходными данными, приведенными в табл.1 и параметрами транзисторов (приложение 3) и методическими рекомендациями [4,5] и параметрами транзисторов [3,6].

В процессе расчета определяют параметры сигналов (амплитуды токов, напряжений, уровни мощностей), действующие в цепях этой схемы, а также номиналы элементов этой схемы. Для этой цели необходимо воспользоваться методическими рекомендациями, приведенными в [4], а также расчетными соотношениями, приведенными напр.[2,3,5,6] или специализированной программой расчета. В процессе расчета определяются амплитуды напряжений и тока первой гармоники, эквивалентное сопротивление нагрузки, приложенное между выходными электродами АЭ и ряд других величин.

Так полный перечень определяемых величин для схемы УМ на БТ и расчетные соотношения для критического режима приведены в [3, 5,6] .

Расчет выходной цепи УМ на ПТ проводится по аналогичной методике, что и в случае БТ. Расчетные соотношения приведены в [3,6].

Расчетные соотношения для входной цепи приведены в [3,5,6].При этом необходимо определить, прежде всего, входное сопротивление, амплитуду входного тока или напряжения.

Расчет параметров элементов цепей питания и смещения также проводится по расчетным соотношениям, приведенным в [3,5,6].

Расчет параметров элементов согласующих цепей осуществляется по расчетным соотношениям [3,5,6].

3.3. При выполнении п.2.3 необходимо воспользоваться краткими теоретическими сведениями, приведенными в приложении 1 и [1,2].

3.4. Методика построения динамических характеристик изложена в приложении 1 и [1,2].

## 4. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Ознакомиться с типом измерительной аппаратуры, используемой для исследований, полной принципиальной электрической схемой, конструктивным выполнением лабораторного стенда, и назначением органов управления (приложение 4). В отчете привести основные технические характеристики приборов и их тип.

4.2. Оценить точность используемой методики расчета. Установить амплитуду напряжения на входе оконечного каскада (XS1), сопротивление нагрузки (R10) и частоту напряжения возбуждения в соответствии с вариантом домашнего задания. Настроить генератор в критический режим путем поворота ручки «Подстройка П- контура». Настройке в резонанс соответствует максимум показаний вольтметра, подключенного к сопротивлению нагрузки R10 (гнезда XS4).

По результатам измерений определить мощность в нагрузке  $P_n$ , КПД  $\eta$  и коэффициент усиления  $K_p$  исследуемого каскада УМ, а также напряженность режима работы транзистора. Можно также считать что КПД П- контура УМ составляет 0,85-0,95.

Мощность нагрузки определяется с использованием соотношения

$$P_H = U_H^2 / R_H \quad (4.1)$$

Результаты измерений и расчета записать в отчет. Сравнить полученные значения КПД и мощности в нагрузке с расчетным значением  $P_1$ .

4.3. Снять нагрузочные характеристики генератора.

Осуществляя изменение сопротивления нагрузки  $R_H$  переключателем.4.2, определить постоянную составляющую выходного тока  $I_{\text{вых0}}$ .

По результатам эксперимента и домашнего задания определить эквивалентное сопротивление нагрузки  $R_э$ , потребляемую мощность  $P_0$ , мощность, рассеиваемую на выходном электроде  $P_k = P_0 - P_1$ ,  $\eta$  и  $K_p = P_1 / P_{\text{вх}}$ . При этом  $P_{\text{вх}}$  определяется при значении  $R_{\text{вх}}$  полученным расчетным путем (п.2.2). Необходимо иметь в виду, что при настроенном П- контуре  $R_э = (C_2/C_1)^2 \cdot R_H$  (рис.4). Полученные результаты занести в табл.2.

Таблица 2

$R_H$ , Ом						
$R_э$ , Ом						
$U_H$ , В						
$U_{\text{вых}}$ , В						
$P_H$ , Вт						
$I_{\text{вых0}}$ , мА						
$P_0$ , Вт						
$P_k$ , Вт						
$\eta$ , %						
$K_p$						

Построить зависимости  $I_{\text{вых0}}$ ,  $U_{\text{вых}}$ ,  $P_{\text{н}}$ ,  $P_0, P_{\text{к}}$ ,  $\eta$ ,  $U_{\text{н}}$ ,  $K_{\text{р}}$  от сопротивления  $R_{\Sigma}$  (при  $U_{\text{вх}} = \text{const}$ ).

2.1 Снять зависимости энергетических характеристик генератора от напряжения возбуждения (амплитудные характеристики).

Изменяя амплитуду напряжения возбуждения  $U_{\text{вх}}$  потенциометром R4 (рис. П4.1), определить значения  $U_{\text{вых}}$ ,  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{вых0}}$ ,  $P_{\text{н}}$ ,  $P_0, P_{\text{к}}$ ,  $\eta$ ,  $K_{\text{р}}$  от  $U_{\text{вх}}$  при  $R_{\text{н}} = R_{\text{нопт}}$ . Частоту выходного сигнала выбрать в соответствии с п.4.3.

Результаты эксперимента занеси в табл.3.

Таблица 3

$U_{\text{вх}}, \text{В}$						
$U_{\text{вых}}, \text{В}$						
$U_{\text{н}}, \text{В}$						
$I_{\text{вых0}}, \text{мА}$						
$P_{\text{н}}, \text{Вт}$						
$P_0, \text{Вт}$						
$P_{\text{к}}, \text{Вт}$						
$\eta, \%$						
$K_{\text{р}}$						

По полученным результатам построить графики исследуемых параметров. По полученным характеристикам определить участки, соответствующие недонапряженному, перенапряженному и критическому режимам работы исследуемого УМ.

4.5. Снять зависимости формы выходного тока  $i_{\text{вх}}$  от напряжения возбуждения и сопротивления нагрузки.

Подключить осциллограф к гнездам XS2. Изменением амплитуды напряжения возбуждения  $U_{\text{вх}}$  и сопротивления нагрузки R10, получить формы выходного тока, соответствующие недонапряженному режиму (остроконечный импульс), критическому режиму (небольшое уплощение

вершины импульса), слабо перенапряженному режиму (в импульсе тока появляется впадина) и сильно перенапряженному режиму (в импульсе тока появляется глубокая впадина). При этом обратить внимание на перекос импульсов выходного тока. При точной настройке форма импульсов становится симметричной. Значения напряжения возбуждения, сопротивления нагрузки, соответствующие указанным режимам, записать в отчет. В отчете предоставить также импульсы выходного тока, соответствующие этим режимам. С использованием полученных зависимостей определить значения углов отсечки, при которых работает АЭ в исследуемых режимах.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

### 5.1. Цель работы

5.2. Расчеты и графики, полученные в соответствии с пунктами 2.1 и 2.3 домашнего задания.

5.3. Результаты измерений, представленные в виде таблиц „графиков и осциллограмм.

5.4. Выводы по работе, содержащие анализ полученных результатов, а также сравнительную оценку результатов расчета и эксперимента.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### А. Вопросы для допуска к лабораторной работе

6.1. Какое устройство называется генератором с внешним возбуждением?

6.2. Дайте характеристику недонапряженного, перенапряженного и критического режимов работы УМ с учетом его состояний его транзистора.

6.3. Назовите состояния, в которых находится генераторный транзистор в процессе работы в схеме УМ. Как определить рабочие области на выходных статических

характеристиках транзистора, соответствующие этим состояниям?

6.4. Поясните назначение функциональных узлов структурной схемы усилителя мощности.

6.5. Почему в схемах УМ выбирают режим работы АЭ с отсечкой тока?

6.6. Как по экспериментальным зависимостям  $i_{\text{вых}}(t)$  определить угол отсечки, при котором работает АЭ?

6.7. Приведите схемы питания выходного электрода АЭ. Какая из этих схем применена в исследуемом каскаде?

6.8. Нарисуйте схемы подачи отпирающего (запирающего) смещения на управляющий электрод биполярного (полевого) транзистора. Из каких соображений выбираются номиналы элементов этих схем?

6.9. Приведите возможные варианты схемы нулевого смещения между управляющим и истоковым электродами АЭ. Какие значения угла отсечки реализуются в УМ случай БТ?

6.10. Какую из выходных согласующих цепей: параллельный контур или П-контур целесообразно использовать в мощных (выходных) каскадах УМ? В предварительных (маломощных) каскадах?

## Б. Вопросы для защиты лабораторной работы

6.11. Какое сопротивление АЭ называется входным? Назовите приблизительное значение входного сопротивления в рабочей полосе частот мощного БТ. Мощного ПТ.

6.12. Почему с ростом частоты коэффициент усиления транзистора уменьшается?

Назовите элементы модели транзистора, которые влияют на его частные свойства.

6.13. Как экспериментально определить входное сопротивление транзистора? Приведите примерное значение входного сопротивления транзистора для конкретного типа транзистора, соответствующего варианту домашнего задания.

6.14. Как выбрать угол отсечки, чтобы получить максимальные значения энергетических показателей (мощности в нагрузке и КПД)?

6.15. Как по выходной динамической характеристике УМ можно определить напряженность режима работы АЭ?

6.16. Как по форме импульсов выходного тока АЭ определить напряженность режима его работы ?

6.17. Почему от напряженности режима работы АЭ зависит КПД? Приведите конкретные значения максимальных(предельных)значений КПД для  $\Theta = 90^\circ$ ;  $\Theta = 120^\circ$ ;  $\Theta = 180^\circ$ .

6.18.Почему экспериментальные значения КПД транзистора меньше максимально возможного, особенно на высоких частотах?

6.19. Нарисуйте временные диаграммы напряжений на выходном электроде АЭ исследуемого каскада и сопротивлении нагрузки В каких случаях и почему амплитуды этих напряжений отличаются по величине?

6.20. Приведите примерное значение напряжения смещения, при котором реализуется угол отсечки  $\Theta=90^\circ$ , если используется: транзистор кремниевый биполярный n-p-n; кремниевый биполярный p-n-p типа; полевой МДП типа.

6.21. Как определить номиналы элементов параллельной схемы питания исследуемого каскада УМ (рис.П2.1)?

6.22. Выполните схемотехнический анализ принципиальной схемы лабораторной установки (рис. П4.1) исследуемого каскада УМ.

6.23.\* При каких условиях (в каком режиме работы) УМ можно считать генератором тока? Генератором напряжения?

6.24.\* Как влияет настройка выходной согласующей цепи УМ на форму импульса выходного тока АЭ? На форму выходного напряжения УМ?

Примечание. Знаком \* отмечены вопросы, которые необходимы для защиты лабораторной работы специалистам.

КРАТКИЕ ТЕОРИТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

семейству идеализированных статистических характеристик АЭ и аналитическим выражениям для мгновенных значений напряжений на его электродах, строить динамическую вольтамперную характеристику (ВАХ). Выходная динамическая ВАХ, представляющая зависимость мгновенных значений выходного тока от мгновенных значений напряжения на выходном электроде АЭ, имеет вид ломаной линии (рис. П1.1).

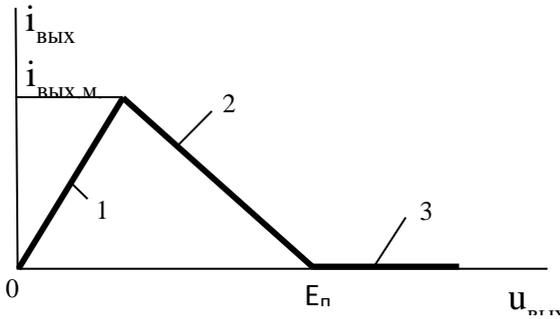


Рис.П1.1. Идеализированная динамическая ВАХ

Линия 1 совпадает с линией критического (граничного) режима (ЛКР) выходных статических ВАХ, соответствует состоянию насыщения АЭ и перенапряжённой области его работы. Крутизна ЛКР определяется соотношением

$$S_{cp} = 1/r_{нас}, \quad (\text{П1.1})$$

где  $r_{нас}$  – сопротивление насыщения.

Линия 2 соответствует активному состоянию АЭ и недонапряжённому режиму работы. Эта линия имеет отрицательную крутизну, модуль которой определяется из условия

$$S_1 = 1/[\gamma_1(\Theta) * R_3], \quad (\text{П1.2})$$

где  $\gamma_1(\Theta)$  – коэффициент разложения [1,2],  $R_3$  – эквивалентное сопротивление нагрузки.

Отрицательное значение крутизны указывает на то, что для выходной цепи генератора АЭ представляет отрицательную проводимость. Поэтому он способен отдавать мощность в нагрузку, т.е. работать как генератор.

При переходе АЭ в состояние отсечки (оба перехода закрыты), ток через него не протекает. На рис. П1.1 это состояние определяется линией 3. Точка пересечения линий 1 и 2 соответствует критическому режиму.

Таким образом, исходя из состояний АЭ и приведённых выше пояснений, в НР динамическая характеристика ограничена линиями 2 и 3. В КР к характеристике НР добавляется небольшой загиб, переходящий на линию 1, связанный с переходом АЭ в область насыщения на небольшое время (в пределах длительности периода колебаний).

В ПР динамическая характеристика состоит из трёх отрезков линий (рис. П1.1). При этом длина линии 3 тем больше, чем выше напряжённость режима работы АЭ.

С помощью выходных динамических ВАХ определяется форма колебаний выходного тока  $i_{\text{вых}}(\tau)$  для всех трёх режимов. Так на рис. П1.2 приведены зависимости  $i_{\text{вых}}(\tau)$ , полученные для различных значений  $R_3$  (при постоянном, заранее выбранном угле отсечки).

На этом рисунке зависимость 1 соответствует недонапряжённому режиму работы. В этом режиме импульс выходного тока имеет остроконечную форму. В критическом режиме (кривая 2) импульс выходного тока имеет уплощённую вершину. В перенапряжённом режиме (кривая 3) в импульс выходного тока появляется провал, который увеличивается с ростом вследствие увеличения амплитуды выходного напряжения (уменьшение остаточного напряжения).

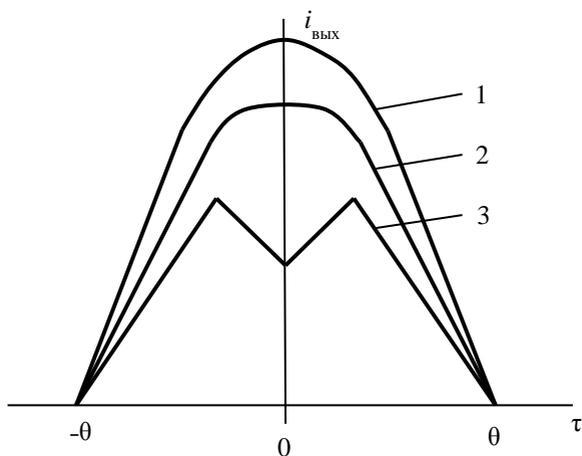


Рис. П.1.2. Зависимость формы импульсов  $i_{\text{вых}}(\tau)$  от сопротивления нагрузки

Форма импульсов выходного тока изменяется также и при увеличении амплитуды выходного напряжения. Так, если в начальный момент при косинусоидальной форме выходного тока (НР) при  $R_3 = \text{const}$  увеличивать  $U_{\text{ex}}$ , то импульс выходного тока начинает возрастать. При достижении транзистором состояния насыщения увеличение амплитуды импульса тока прекращается и появляется уплощение его вершины, а затем и провал, который, при дальнейшем увеличении амплитуды входного сигнала может привести и к раздвоению импульса.

Аналогичные изменения формы импульса выходного тока наблюдается и при изменении напряжения источника питания  $E_n$ .

Нагрузочные характеристики – это зависимости энергетических характеристик генератора от изменения эквивалентного сопротивления нагрузки  $R_3$ . Обычно пользуются несколькими нагрузочными характеристиками. Это постоянная составляющая выходного тока  $I_{\text{вых}0}$ , амплитуда тока первой гармоники  $I_{\text{вых}1}$ , амплитуда выходного напряжения  $U_{\text{вых}}$ , потребляемая мощность  $P_0$ , генерируемая (колебательная) мощность  $P$ , рассеиваемая мощность  $P_{\text{на}}$  на выходном

электродеАЭ и коэффициент полезного действия  $\eta$  выходной цепи. Эти зависимости также строятся с помощью выходных статических ВАХ по известной форме импульсов тока для постоянного угла отсечки. Типовые зависимости нагрузочных характеристик приведены на рис. П.1.3.

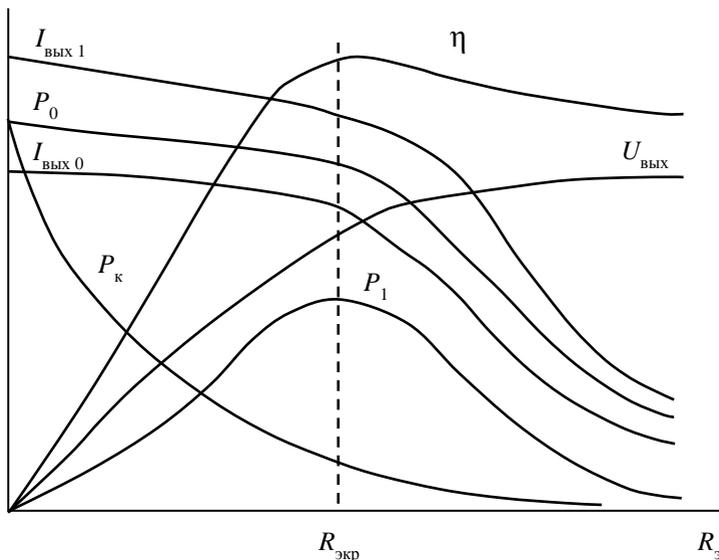


Рис. П1.3. Нагрузочные характеристики

Нагрузочные характеристики разделяют в точке  $R_э = R_{\text{экр}}$  на две области: недонапряжённого режима ( $R_э < R_{\text{экр}}$ ) и перенапряжённого режима ( $R_э > R_{\text{экр}}$ ). В области недонапряжённого режима  $I_{\text{вых}1}$  и  $I_{\text{вых}0}$  мало изменяются при увеличении сопротивления нагрузки, поэтому выходная цепь эквивалента генератору тока. Амплитуда на выходном электроде, определяемая выражением  $U_{\text{вых}} = I_{\text{вых}1}R_э$ , в этом случае увеличивается почти линейно при увеличении  $R_э$ . Потребляемая мощность  $P_0$  также изменяется незначительно, а колебательная мощность  $P_1 = 0,5I_{\text{вых}1}^2R_э$  возрастает пропорционально  $R_э$ , достигая максимума при  $R_э = R_{\text{экр}}$ , и далее уменьшается. КПД при малых значениях  $R_э$  мал, возрастает с увеличением  $R_э$  и образует тупой максимум в области перенапряжённого режима. В критическом режиме

( $R_3 = R_{экр}$ ) генерируемая мощность  $P_1$  максимальна, а КПД близок к максимальному значению. Коэффициент усиления по мощности в этом случае практически максимален.

Рассеиваемая мощность  $P_k = P_0 - P_1$  максимальна при  $R_3 = 0$  и равна  $P_0$ , поскольку  $P_1 = 0$ . Мощность в нагрузку в этом случае не передаётся. При увеличении  $R_3$  мощность  $P_k$  резко уменьшается и достигает минимального значения в ПР.

Таким образом в КР энергетические показатели являются оптимальными: генерируемая мощность  $P_1$  максимальна, а КПД близок к максимальному значению. В НР на АЭ рассеивается большая мощность, поэтому АЭ работает в тяжёлых температурных условиях. Это может привести к выходу АЭ из строя. Однако в этом режиме нелинейные искажения минимальны.

В перенапряжённом режиме КПД максимален и практически остаётся постоянным в широких пределах изменения нагрузки. Поэтому ПР является наиболее лёгким для работы АЭ. Однако в этом режиме выходной сигнал сильно искажён, что свидетельствует о большом уровне нелинейных искажений. Генерируемая мощность при этом меньше максимально возможной.

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ИССЛЕДУЕМОГО КАСКАДА

Электрическая принципиальная схема исследуемого каскада УМ, выполненного по схеме с общим истоковым электродом, приведена на рис.П2.1

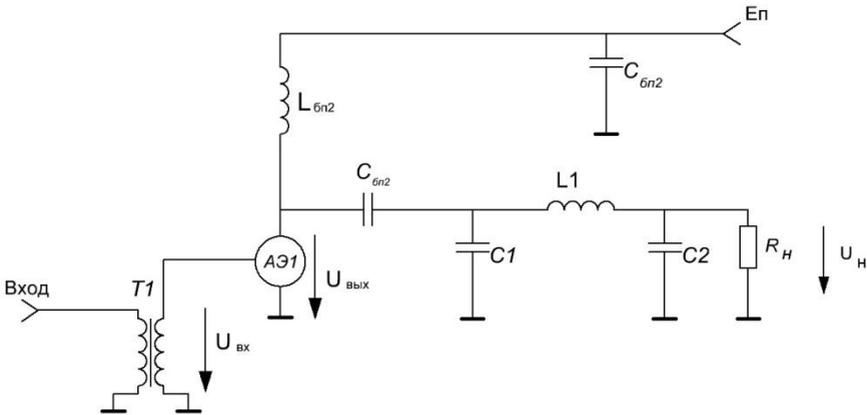


Рис.П2.1. Схема исследуемого каскада УМ

В качестве выходной согласующей цепи в схеме используется П- контур (элементы  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $L_1$ ), который трансформирует сопротивление нагрузки  $R_{нв}$  эквивалентное сопротивление  $R_3$ , являющееся, собственно, нагрузкой АЭ 1. Кроме этого П- контур осуществляет и фильтрацию выходного сигнала, поскольку АЭ 1 работает в режиме с отсечкой тока [1...3].

Входная согласующая цепь УМ выполнена на трансформаторе  $T_1$ , обеспечивающем согласование выходного сопротивления источника сигнала, подключаемого к зажиму «Вход» устройства, с входным сопротивлением АЭ 1.

Напряжение  $E_п$  подается на выходной электрод АЭ 1 с помощью элементов  $C_{бл2}$  и  $L_{бл1}$ , образующих параллельную схему питания. Конденсатор  $C_{бл1}$  является разделительным, поскольку не

пропускает постоянное напряжение источника питания  $E_{п}$  в нагрузку, а для токов ВЧ имеет малое сопротивление.

Между управляющим и истоковым электродом АЭ 1 напряжение смещения в исследуемой схеме равно нулю, поскольку по постоянному току эти электроды закорочены через вторичную обмотку трансформатора  $T_1$ .

В транзисторных каскадах УМ, выполненных на биполярных (БТ) и мощных полевых (ПТ) транзисторах типа МДП, имеющих напряжение отсечки  $E'$  до 1 вольта, Поэтому при амплитудах напряжения возбуждения в несколько вольт, реализуется угол отсечки близкий к  $90^\circ$ .

**СПРАВОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ**

**КП901:**

$P = 10 \text{ Вт}$ ,  $\eta' = 40 \%$  при  $\theta = 90^\circ$ ,  $K'_p = 7 \dots 12.5 \text{ дБ}$  при  $f' = 100 \text{ МГц}$ ,  
 $S = 150 \dots 200 \text{ мА/В}$ ,  $E_{II} = 50 \text{ В}$ ,  $E' = -1 \dots +1 \text{ В}$ ,  
 $r_{НАС} = 8 \dots 15 \text{ Ом}$ ,  $R_i = 150 \dots 160 \text{ Ом}$ ,  $r_C = 10 \dots 15 \text{ Ом}$ ,  
 $C_{КАН} = 15 \dots 100 \text{ пФ}$ ,  $C_{сз} = 1,5 \dots 10 \text{ пФ}$ ,  $C_{СИ} = 20 \dots 25 \text{ пФ}$ ,  
 $r_3 = 3 \dots 5 \text{ Ом}$ ,  $r_{КАН} = 10 \dots 15 \text{ Ом}$ ,  $r_{II} = 0,4 \dots 0,6 \text{ Ом}$ ,  
 $U_{СИ.ДОП} = 70 \text{ В}$ ,  $U_{ЗИ.ДОП} = 30 \text{ В}$ ,  $f' = 100 \text{ МГц}$ ,  
 $I_{СО.ДОП} = 4 \text{ А}$ ,  $L_3 = L_{II} = L_C = 4 \text{ нГн}$ .

**КП 905А:**

$P = 10 \text{ Вт}$ ,  $\eta' = 22 \%$  при  $\theta = 90^\circ$ ,  $K'_p = 3 \dots 6 \text{ дБ}$ ,  
 $S = 18 \dots 39 \text{ мА/В}$ ,  $E_{II} = 50 \text{ В}$ ,  $E' = 0 \text{ В}$ ,  
 $r_{НАС} = 40 \dots 70 \text{ Ом}$ ,  $R_i = 600 \dots 800 \text{ Ом}$ ,  $C_{КАН} = 4,5 \dots 5,5 \text{ пФ}$ ,  
 $C_{сз} = 0,15 \dots 0,25 \text{ пФ}$ ,  $C_{СИ} = 2,5 \dots 3 \text{ пФ}$ ,  $r_3 = 1,5 \dots 4 \text{ Ом}$ ,  
 $r_{КАН} = 25 \dots 40 \text{ Ом}$ ,  $r_{II} = 1,4 \dots 1,5 \text{ Ом}$ ,  $r_C = 60 \dots 70 \text{ Ом}$ ,  
 $U_{СИ.ДОП} = 60 \text{ В}$ ,  $U_{ЗИ.ДОП} = 30 \text{ В}$ ,  $I_{СО.ДОП} = 4 \text{ А}$ ,  
 $L_3 = L_C = 4 \text{ нГн}$ ,  $L_{II} = 0,1 \text{ нГн}$ , при  $f' = 100 \text{ МГц}$ ,

**КП 907А:**

$P = 6 \dots 8 \text{ Вт}$ ,  $\eta' = 22 \%$  при  $\theta = 90^\circ$ ,  $K'_p = 3 \dots 4,7 \text{ дБ}$   
 $S = 110 \dots 200 \text{ мА/В}$ ,  $E_{II} = 50 \text{ В}$ ,  $E = 0 \text{ В}$ ,  
 $r_{НАС} = 2,5 \text{ Ом}$ ,  $R_i = 150 \dots 160 \text{ Ом}$ ,  $C_{КАН} = 18 \dots 22 \text{ пФ}$ ,  
 $C_{сз} = 4 \dots 6 \text{ пФ}$ ,  $C_{СИ} = 10 \dots 15 \text{ пФ}$ ,  $r_3 = 0,5 \dots 1 \text{ Ом}$ ,  
 $r_{КАН} = 8 \dots 12 \text{ Ом}$ ,  $r_{II} = 0,5 \dots 0,8 \text{ Ом}$ ,  $r_C = 12 \dots 15 \text{ Ом}$ ,  
 $U_{СИ.ДОП} = 60 \text{ В}$ ,  $U_{ЗИ.ДОП} = 30 \text{ В}$ ,  $I_{СО.ДОП} = 1,7 \text{ А}$ ,  
 $L_3 = L_C = 4 \text{ нГн}$ ,  $L_{II} = 0,1 \text{ нГн}$ ,  $f' = 1000 \text{ МГц}$ ,

**КТ 928А:**

$h_{21Э} = 20 \dots 100$ ,  $f_T = 250 \text{ МГц}$ ,  $r_{НАС} = 2 \text{ Ом}$ ,  $C_K = 6,9 \text{ пФ}$ ,  
 $C_Э = 60 \text{ пФ}$ ,  $I_{0К} = 0,01 \text{ мкА}$ ,  $U_{КЭ.ДОП} = 60 \text{ В}$ ,  $U_{БЭ.ДОП} = 5 \text{ В}$ ,  
 $I_{КО.ДОП} = 0,3 \text{ А}$ ,  $P_{К.ДОП} = 1,25 \text{ Вт}$ ,  $r_B = 18 \text{ Ом}$ ,  $r_Э = 0$ .

КТ 610А:

$h_{21Э} = 50 \dots 300$ ,  $f_T = 900$  МГц,  $r_{НАС} = 2$  Ом,  $C_K = 4.1$  пФ,  
 $C_Э = 21$  пФ,  $I_{0К} \leq 10$  мкА,  $U_{КЭ..ДОП} = 36$  В,  $U_{БЭ..ДОП} = 4$  В,  
 $I_{КО..ДОП} = 0.3$  А,  $P_{К..ДОП} = 1.5$  Вт,  $r_B = 15$  Ом,  $r_Э = 0$ .  
 $L_Э = 0.6$  нГн,  $L_B = 2.4$  нГн,  $L_K = 2.4$  нГн

КТ 635А:

$h_{21Э} = 25 \dots 150$ ,  $f_T = 470$  МГц,  $r_{НАС} = 0.8$  Ом,  $C_K = 7.4$  пФ,  
 $C_Э = 70$  пФ,  $I_{0К} \leq 10$  мкА,  $U_{КЭ..ДОП} = 60$  В,  $U_{БЭ..ДОП} = 5$  В,  
 $I_{КО..ДОП} = 1$  А,  $P_{К..ДОП} = 1.5$  Вт,  $r_B = 3.7$  Ом,  $r_Э = 0$ .

КТ 636А:

$h_{21Э} = 40 \dots 200$ ,  $f_T = 200$  МГц,  $r_{НАС} = 0.5$  Ом,  $C_K = 10$  пФ,  
 $C_Э = 80$  пФ,  $I_{0К} \leq 10$  мкА,  $U_{КЭ..ДОП} = 60$  В,  $U_{БЭ..ДОП} = 4$  В,  
 $I_{КО..ДОП} = 0.5$  А,  $P_{К..ДОП} = 1$  Вт,  $r_B = 30$  Ом,  $r_Э = 0$ .

КП 902А:

$P = 1$  Вт,  $\eta' = 22\%$  при  $\theta' = 90^\circ$ ,  $K'_P = 3..4.7$  дБ

$S = 10 \dots 30$  мА/В,  $E_{П} = 50$  В,  $E' = 0$  В,

$r_{НАС} = 10 \dots 30$  Ом,  $R_i = 150 \dots 160$  Ом,  $C_{КАН} = 20 \dots 25$  пФ,

$C_{сз} = 1.5$  пФ,  $C_{СИ} = 5.5$  пФ,  $r_3 = 2 \dots 30$  Ом,

$r_{КАН} = 12 \dots 15$  Ом,  $r_{и} = 1 \dots 1.5$  Ом,  $r_C = 20 \dots 30$  Ом,

$U_{СИ..ДОП} = 50$  В,  $U_{ЗИ..ДОП} = 30$  В,  $I_{СО..ДОП} = 200$  мА,

$L_3 = L_C = 4$  нГн,  $L_{и} = 0.1$  нГн,  $f' = 100$  МГц,

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис. П4.1. Она включает задающий автогенератор, выполненный на транзисторе VT1 трехточечной схеме с емкостной обратной связью (конденсатор C4). Кроме этого для повышения стабильности частоты включен дополнительный конденсатор C3 в индуктивную ветвь автогенератора совместно C2. Используется вариант схемы с заземленным коллектором по ВЧ с помощью блокировочного конденсатора C1.

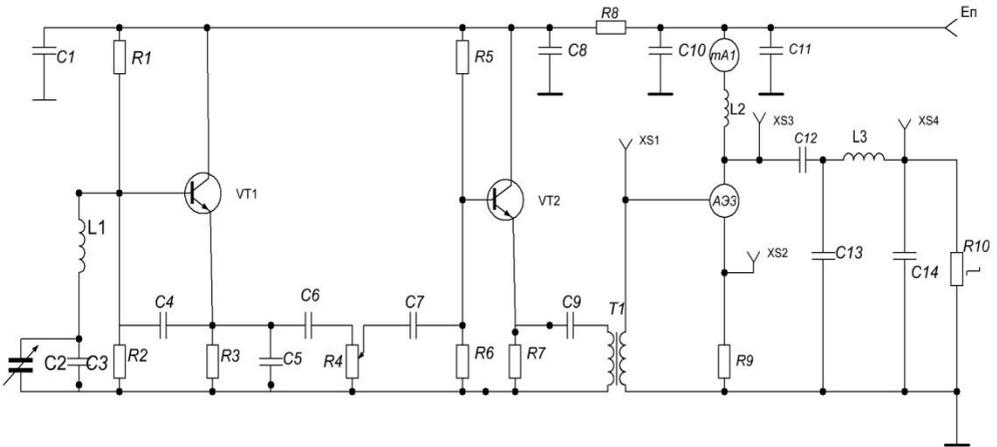


Рис.П4.1. Схема электрическая принципиальная установки

Буферный каскад реализован на транзисторе VT2 по схеме с заземленным коллектором (эмиттерный повторитель). Этот каскад служит для уменьшения влияния входного сопротивления УМ, выполненного на АЭЗ, на задающий автогенератор.

Исследуемый УМ выполнен на АЭЗ по схеме с общим истоковым электродом. В качестве АЭЗ используются транзисторы как БТ, так и ПТ в зависимости от варианта задания (табл.1). Резистор R9, включенный в цепь истокового электрода АЭЗ, служит для определения формы выходного тока (гнездо XS2) протекающего через АЭЗ. Миллиамперметр mA1 используется для определения постоянной

составляющей тока  $I_{\text{вых.о}}$ , который приблизительно равен потребляемому току исследуемого каскада.

Нагрузочный резистор R10 представляет несколько параллельно подсоединенных к переключателю резисторов, с помощью которых дискретно изменяется нагрузка исследуемого каскада.

Установка требуемого значения напряжения возбуждения осуществляется потенциометром R4 в точке XS1 определяется уровень напряжения на входе АЭЗ.

Форма импульсов напряжения, определяемая в точке XS2 с помощью осциллографа на измерительном резисторе R9 с малым сопротивлением (несколько Ом), повторяет форму импульсов тока, протекающего через АЭЗ. Поэтому по форме этих импульсов определяется и режим работы АЭЗ по напряженности. Уровень напряжения между выходными электродами АЭЗ и его форма измеряются в точке XS3 с помощью внешнего высокочастотного вольтметра. Напряжение на внешней нагрузке измеряется в точке XS4.

Миллиамперметр mA1 служит для измерения постоянной составляющей выходного тока  $I_{\text{вых.о}}$ , протекающей через активный элемент. Повелечение этого тока и по известному напряжению источника  $E_{\text{п}}$  определяется потребляемая каскадом УМ мощность.

Резистор R10 является сопротивлением нагрузки исследуемого устройства. Его номинал дискретно изменяется с помощью переключателя, выведенного на переднюю панель стенда. Номиналы нагрузочного резистора указаны на передней панели стенда.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радиопередающие устройства: учеб. пособие /В.В.Шахгильдян, В.Б.Козырев, А.А.Ляховкин и др.; под ред. В.В.Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 2003.-560 с.
2. Петров Б.Е. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах: учеб.пособие /Б.Е.Петров,В.А. Романюк. –М.:Высш.шк,1989. – 232 с.
3. Проектирование радиопередатчиков: учеб. пособие /В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин, В.А. Власов,В.М. Розов, А.Е. Рыжков, М.М. Козловский, В.А. Антипенко, Э.С. Забалканский; под ред. В.В. Шахгильдяна. –М.: Радио и связь, 2000.- 656 с.
4. Генераторы с внешним возбуждением и автогенераторы: методические указания для практических занятий по дисциплинам «Устройства генерирования и формирования сигналов» ,«Устройства передачи и приема сигналов в СПЦС», «Радиопередающие устройства»/ М.И.Бочаров. Воронеж: ВГТУ,2013. -50 с.
5. Бочаров М.И. Построение и расчет схем генераторов: учеб .пособие/ М.И.Бочаров. Воронеж, ВГТУ, 2007 – 157 с.
6. Шумилин М.С. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков/ М.С.Шумилин, В.Б. Козырев, В.А.Власов. – М.: Радио и связь,1987. – 320 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Указание по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.....	1
Лабораторная работа №10 «Исследование электрических характеристик усилителя мощности».....	1
1. Общие указания по работе.....	1
2. Домашнее задание.....	2
3. Методические указания по выполнению домашнего задания.....	4
4. Лабораторное задание.....	5
5. Содержание отчета.....	8
6. Контрольные вопросы.....	8
Приложение 1. Краткие теоретические сведения.....	11
Приложение 2. Описание схемы исследуемого каскада.....	16
Приложение 3. Справочные параметры транзисторов.....	18
Приложение 4. Описание схемы лабораторной установки.....	20
Библиографический список.....	22