

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)**

Кафедра телевидения и управления
(ТУ)

РУКОВОДСТВО ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Учебное методическое пособие

РАЗРАБОТАЛ

_____ А.Д. Бордус

Обновление А.Г. Ильин

«_____» _____ 2022 г.

Бордус А.Д. Руководство по лабораторным работам: Учебное методическое пособие. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2022. – 76 с.

© Бордус А.Д., 2022

© Кафедра Телевидения и управления, ТУСУР, 2022

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные работы охватывают основные разделы курса УГФС и служат для закрепления у студентов теоретических знаний, привития им навыков практической и экспериментальной работы с учетом групп проектного обучения (ГПО).

Работы выполняются фронтальным методом на универсальных установках.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Подготовка к лабораторным работам

До начала занятий в лаборатории следует подробно ознакомиться с описанием лабораторной работы и литературой, указанной в описании. Проверить свои знания по вопросам, приведённым в конце описания каждой лабораторной работы.

Выполнение работы в лаборатории

1. Лабораторные работы выполняются в часы, предусмотренные расписанием. Каждую работу выполняет бригада, состоящая из 2 - 3 человек.
2. Особенностью лаборатории РПУ является использование высоковольтных источников питания и достаточно мощных генераторов электромагнитной энергии. Поэтому перед выполнением работ каждый студент обязан пройти инструктаж по технике безопасности и в дальнейшем выполнять необходимые требования.
3. Перед выполнением работы студенты должны тщательно ознакомиться с лабораторной установкой.
4. Включение установки производится только после разрешения преподавателя или лаборанта.
5. В лаборатории необходимо соблюдать тишину.
6. По окончании работы следует отключить все источники и приборы, уложить съёмные детали и соединительные шланги и сдать установку преподавателю или лаборанту.
7. Оформление результатов работы производится в лаборатории.
8. Работа считается законченной после просмотра и утверждения полученных результатов.

Оформление отчёта

1. Отчёт по лабораторной работе оформляется в соответствии с требованиями, действующими на данный момент времени. Инструкция по оформлению отчётов вывешивается в лаборатории.

2. Первый лист отчёта должен содержать название работы, номер группы и фамилию студента, дату выполнения работы и фамилию преподавателя.

3. В отчёте должны содержаться схема, краткое содержание работы, таблицы с экспериментальными и расчётными данными, графики и выводы по работе.

4. Графики и схемы вычерчиваются на листах отчёта или на миллиметровой бумаге, которая подклеивается к отчёту. Координатные оси и кривые должны иметь необходимые обозначения и изображаться в удобном масштабе. Экспериментальные результаты наносятся на графики в виде точек, крестиков, треугольников, которые должны быть хорошо видны. При выпадении отдельных экспериментальных точек из общего хода кривой их можно не учитывать, полагая их положение ошибочным.

5. Выводы должны содержать объяснение полученных результатов с точки зрения теории, оценку погрешности измерения и т.д. Анализ результатов и выводы являются важнейшей частью работы.

6. Защита отчётов производится индивидуально каждым студентом и оценивается по пятибалльной системе. Результаты защиты и качество выполнения работ учитывается при сдаче экзамена по теоретическому курсу.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторные работы по устройствам формирования сигналов (УФС) производится на универсальных лабораторных установках, состоящих из 10 макетов. Каждый макет представляет собой радиопередатчик, выполненный в форме, удобной для проведения лабораторных исследований, и снабжённый необходимыми приборами и органами управления. Установка позволяет выполнить следующие работы:

Работа № 1. Исследование форм импульсов генератора с внешним возбуждением.

Работа № 2. Исследование режима генератора при изменении питающих напряжений.

Работа № 3. Исследование нагрузочных и резонансных характеристик генератора.

Работа № 4. Исследование зависимости режима генератора от угла отсечки.

Работа № 5. Исследование трёхточечных автогенераторов.

Работа № 6. Исследование жёсткого режима возбуждения автогенератора.

Работа № 7. Исследование автогенератора с кварцем.

Работа № 8. Исследование стабильности частоты автогенератора

Работа № 9. Исследование пентодной модуляции.

Работа № 10. Исследование сеточной модуляции смещением.

Работа № 11. Исследование анодно-экранной модуляции.

Работа № 12. Исследование схем частотной модуляции.

Работы 2,3,4,7,9,10,11 выполняются на макете №1, а 1,5,6,8,12 – на макете №2.

В верхней части каждого макета размещены измерительные приборы, а в нижней – радиопередатчик, на передней панели которого приведена его принципиальная схема, совмещённая с органами управления. На принципиальной схеме показаны также места включения измерительных приборов, размещённых на верхней панели. Обозначения приборов на схеме и панели совпадают между собой.

Установка укомплектована следующими стандартными приборами:

1. Ламповым вольтметром В7-26.
2. Звуковым генератором ГЗ-109.
3. Осциллографом С1-69.
4. Измерителем частоты ЧЗ-33.

Следует иметь в виду, что установка является достаточно сложным устройством, поэтому приступить к проведению лабораторных исследований следует только после тщательного изучения схемы, назначения органов управления и знакомства с инструкциями по использованию приборов.

МАКЕТ № 1

Упрощенная принципиальная схема установки изображена на рис.1. Она представляет собой радиопередатчик, состоящий из трёх каскадов высокой частоты, модулятора и источников питания.

Каскады высокой частоты. Задающий генератор выполнен на лампе 6Ж4П по трёхточечной схеме с последовательным питанием анодной цепи. Частота задающего генератора, равная одному мегагерцу, стабилизируется кварцем. В зависимости от положения тумблера ТП-4 кварц может быть подключен к промежутку сетка-катод или сетка-анод лампы. В соответствии с этим генератор будет работать по схеме индуктивной или ёмкостной трёхточки.

Колебания, развиваемые генератором, выделяются в анодном контуре, который в широких пределах перестраивается с помощью конденсатора переменной ёмкости $C_{АГ}$. Ручка управления конденсатором выведена на переднюю панель передатчика. Переменное напряжение на анодном контуре может быть измерено на клемме " $U_{ма}$ ".

Работа задающего генератора контролируется с помощью трёх приборов, два из которых измеряют постоянные составляющие тока управляющей сетки I_{g0} и анодного тока I_{a0} , а третий – высокочастотный ток в контуре I_k . Включение питания анода и экранной сетки задающего генератора производится тумблером ТП-2.

Колебания с анодного контура задающего генератора через переходную ёмкость поступают на управляющую сетку промежуточного каскада, выполненного на лампе 6П15П. Регулировка выходного напряжения генератора производится изменением напряжения на третьей сетке лампы E_{g3} с помощью потенциометра от источника отрицательного напряжения -150В.

В схеме каскада предусмотрена также возможность амплитудной модуляции на третью сетку. Модулирующий сигнал в этом случае поступает от внешнего звукового генератора (клеммы З.Г.) через переключатель вида модуляции П-1.

Наблюдение за работой каскада производится с помощью двух приборов: прибора, измеряющего переменное напряжение, подаваемое от промежуточного каскада на выходной U_{mg} , и прибора, измеряющего напряжение звуковой частоты на клемме $ЗГ-U_{\Omega}$.

Включение анодного питания промежуточного каскада производится тумблером ТП-2 одновременно с подачей питания на задающий генератор.

Входной каскад передатчика выполнен на лучевом тетраде ГУ-50 по схеме с последовательным питанием анодной цепи. В анодном контуре ГУ-50 имеется переменный конденсатор C_k , который служит для настройки контура в резонансе. Кроме этого, анодный контур переключением дополнительной ёмкости может настраиваться на первую или вторую гармонику

анодного тока – «Усил» – «Удв». Связь с нагрузкой производится вариометром и регулируется в широких пределах. Нагрузкой генератора является цепь, состоящая из последовательно включенных активного сопротивления R_n и индикаторной лампочки, которая вынесена на переднюю панель. Суммарное сопротивление нагрузки составляет 500 Ом.

Смещение на управляющую сетку подаётся через высокочастотный дроссель от источника -150 В и регулируется потенциометром E_g от нуля до максимальной величины.

Как уже отмечалось ранее, регулировка напряжения возбуждения на сетке выходного каскада производится потенциометром E_{g3} от нуля до максимальной величины.

Анодное напряжение на выходной каскад включается тумблером ТП-3. Управление работой каскада осуществляется с помощью юрочек, выведенных на переднюю панель.

Выходной каскад может работать:

- а) в режиме усиления немодулированных колебаний;
- б) в режиме удвоения частоты;
- в) в режиме модуляции.

Наблюдение за работой выходного каскада осуществляется путём измерения следующих величин:

I_{a0} – постоянной составляющей тока анода выходного каскада;

E_a – напряжения анодного питания;

U_{mg} – напряжения возбуждения;

I_{g01} – постоянной составляющей тока первой сетки;

I_{g02} – постоянной составляющей тока экранной сетки;

I_k – тока в анодном контуре;

I_n – тока в цепи нагрузки (эквиваленте антенны).

Приборы для измерения I_{a0} и E_a расположены на передней панели блока питания, остальные – в верхнем ряду приборной панели. Кроме этого, к клемме U_n могут подключаться приборы для измерения напряжения или просмотра формы сигнала на нагрузке выходного каскада.

Модуляция. В установке предусмотрена возможность осуществления сеточной, анодно-экранной и пентодной модуляции, а также работа в режиме усиления модулированных колебаний. Напряжение модуляции от внешнего генератора подаётся на клеммы З.Г. и далее, в зависимости от положения переключателя вида модуляции П1:

а) на пентодную сетку лампы 6П15П (пентодная модуляция и усиление модулированных колебаний), или

б) на первичную обмотку трансформатора, включенного в цепь управляющей сетки выходного каскада (сеточная модуляция), или

в) на первичную обмотку входного трансформатора модулятора (анодно-экранная модуляция).

Переключателем П1 производится также подключение к входному контуру дополнительной ёмкости, служащей для пропускания звуковой составляющей анодного тока при сеточной модуляции и в режиме У.М.К. При анодно-экранной модуляции звуковая составляющая проходит через модулятор, а дополнительная ёмкость отключается. Напряжение на клеммах З.Г. измеряется вольтметром U_{Ω} , расположенным на панели приборов.

При анодно-экранной модуляции модулирующее напряжение усиливается двухтактным модулятором на лампах 6П18П и с выхода модуляционного трансформатора поступает на анод и экранную сетку выходного каскада.

Выключается модулятор тумблером ТП-5.

Источник питания. Питание генератора осуществляется от трёх выпрямителей, размещённых в блоке питания. Они вырабатывают напряжение +200 В для питания задающего генератора и промежуточного каскада, -150 В для создания смещения и регулировки напряжения возбуждения на управляющей сетке выходного каскада, регулируемое напряжение $0 \div 500$ В для питания выходного каскада и модулятора и напряжение для питания накалов ламп. Изменение напряжения питания выходного каскада и модулятора производится регулятором, ручка которого расположена в центре блока питания.

Включение установки осуществляется с помощью четырёх тумблеров:

ТП-1 – сеть, минус 150 В и накал ламп;

ТП-2 – +200 В для питания задающего генератора и промежуточного каскада;

ТП-3 – $0 \div 500$ В для выходного каскада;

ТП-5 – включение модулятора.

Тумблер ТП-1 расположен в блоке питания, а остальные на панели блока передатчика.

МАКЕТ №2

Принципиальная схема макета изображена на рис. 2. Схема состоит из автогенератора, собранного на лампе V2, генератора с внешним возбуждением на лампе V3, а также реактивной лампы V1 и варикапа V4, служащих для осуществления частотной модуляции.

Автогенератор может быть включен по схеме индуктивной или ёмкостной трёхточки с параллельным питанием цепи анода. Вид обратной связи и её величина устанавливаются с помощью переключателя П1, а частота автогенератора плавно изменяется конденсатором C_1 . Смещение на управляющую сетку подаётся автоматическое (за счёт сеточного тока) или внешнее, с потенциометра -50В. Для наблюдения за формой напряжения на контуре автогенератора его катушка индуктивно связана с дополнительной обмоткой, выводы которой присоединены к клеммам U_{AG} . К этой же обмотке может

быть подключена нагрузка, величина которой регулируется переключателем «Нагрузка А.Г.» от 10 Ом до 1,6 кОм. Работа автогенератора контролируется шестью приборами, которые измеряют переменные напряжения на аноде U_{ma} , на сетке $-U_{mg}$, высокочастотный ток в контуре $-I_k$, постоянную составляющую тока сетки I_{g01} , постоянную составляющую анодного тока $-I_{a0}$ и напряжение смещения $-E_g$.

Колебания от автогенератора через катушку обратной связи поступают на управляющую сетку лампы генератора с внешним возбуждением на лампе V3. Генератор может работать в режиме усиления, удвоения и утроения частоты. Вид режима устанавливается переключателем П2, который одновременно изменяет величину связи с автогенератором, сопротивление автосмещения и ёмкость в анодном контуре. Плавное изменение резонансной частоты контура производится ёмкостью C_2 , а изменение связи контура с анодной цепью лампы V3 – переключателем P_{ce} .

На лицевой панели макета имеется 6 пар контрольных гнезд для снятия осциллограмм:

I_{mg1} – тока управляющей сетки,

U_{mg} – напряжения возбуждения,

I_{kam} – катодного тока,

I_{mg2} – тока экранной сетки,

U_{ma} – переменного напряжения на аноде,

I_{ma} – анодного тока.

Постоянные составляющие анодного и экранного токов измеряются приборами I_{a0} и I_{g02} , а ток в контуре – прибором I_k .

Схема содержит 2 частотных модулятора. Один из них – реактивная лампа V1, которая тумблером L_3-C_3 ставится в соответствующий режим, второй – варикап V4.

Присоединение модуляторов к контуру автогенератора производится переключением «Способ ЧМ». Напряжение смещения на частотные модуляторы подаётся от источника $-50B$ через дроссели высокой частоты L и регулируется потенциометром E_g . На модуляторы может быть также подано напряжение звуковой частоты U_Ω .

Включение установки производится с помощью четырёх тумблеров:

ТП-1 – сеть 220В, минус 50В и накал ламп.

ТП-2 – +200В для питания автогенератора,

ТП-3 – +200В для питания генератора с внешним возбуждением,

ТП-3 – +200В для питания генератора с внешним возбуждением,

ТП-4 – +200В для питания второй сетки реактивной лампы.

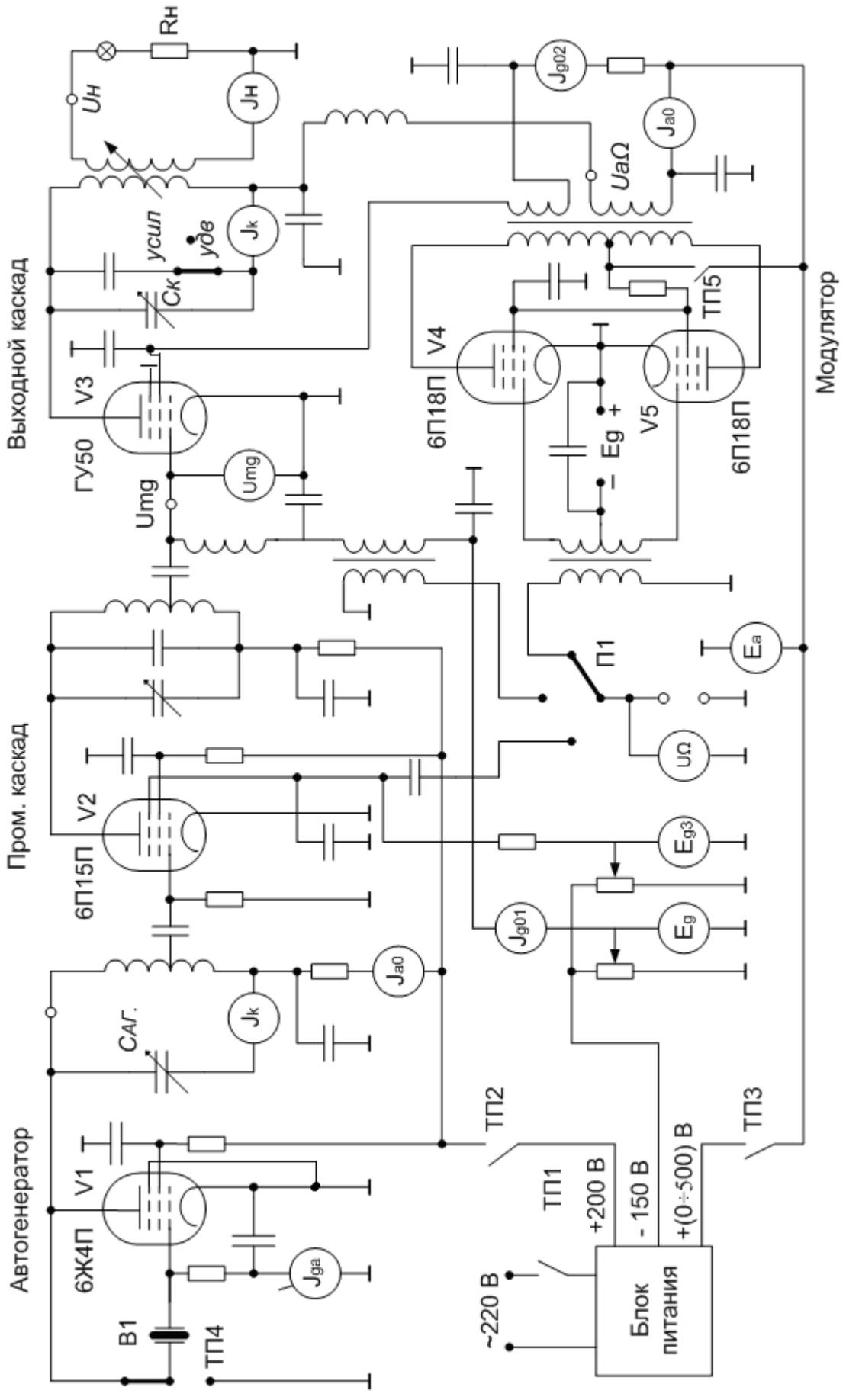


Рис. 1

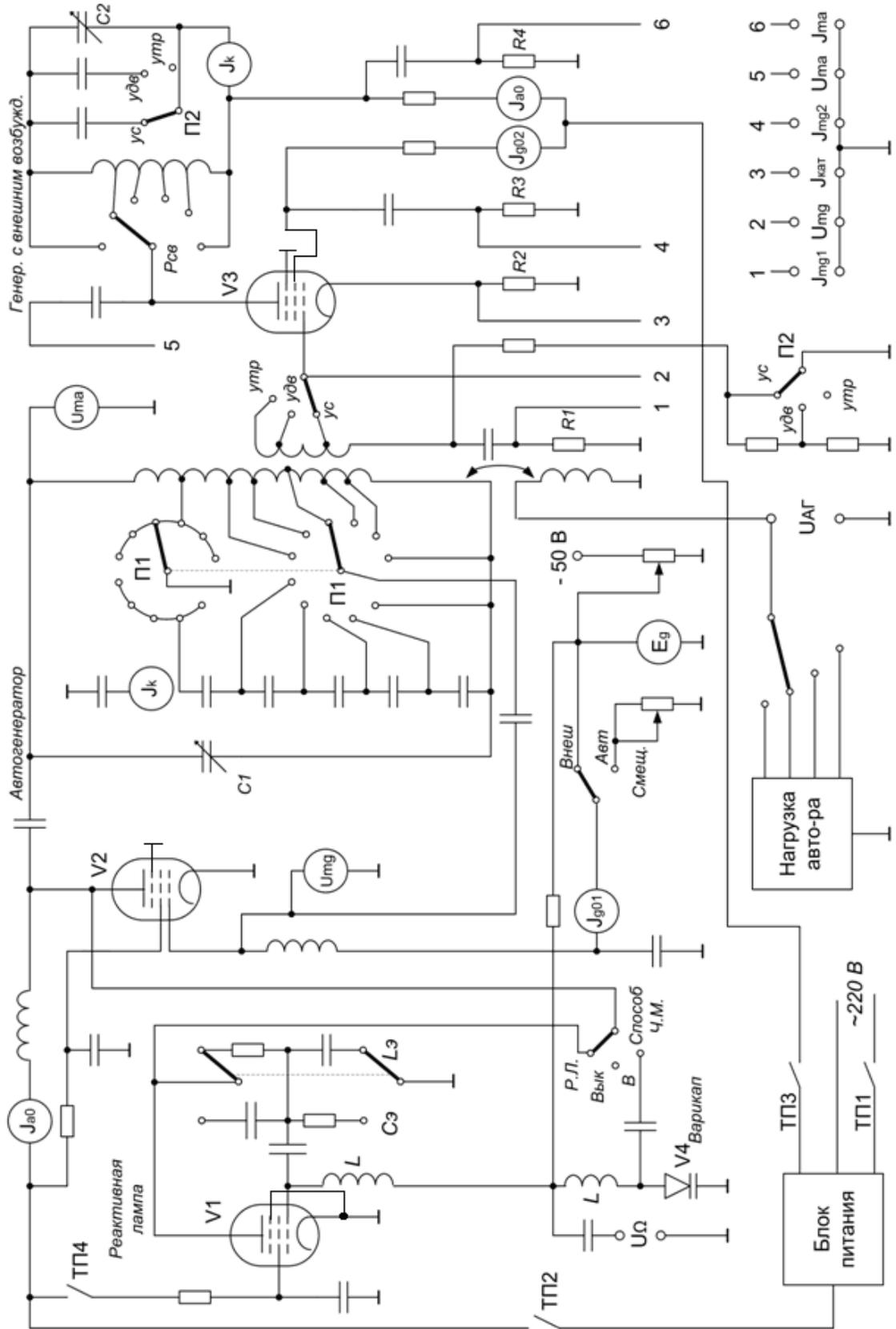


Рис. 2

ГЕНЕРАТОР С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОБЩАЯ ЧАСТЬ

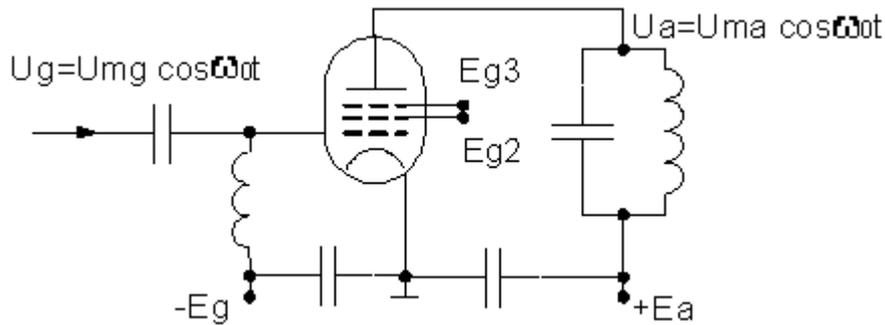


Рис. 3

Схема генератора с внешним возбуждением приведена на рис. 3. На управляющую сетку лампы от источника возбуждения подается переменное напряжение U_g , изменяющееся по гармоническому закону с амплитудой U_{mg} .

Кроме переменного напряжения на сетку подается постоянное напряжение смещения $-E_g$, служащее для выбора рабочей точки. Переменное и постоянное напряжение в сумме определяют мгновенное напряжение на сетке

$$e_g = E_g + U_{mg} \cos \omega_0 t . \quad (1)$$

В анодную цепь генератора включен параллельный колебательный контур, настроенный в режиме усиления на частоту входного сигнала. Источник питания анодной цепи E_a включен последовательно с контуром. Мгновенное напряжение на аноде определяется выражением:

$$e_a = E_a - U_{ma} \cos \omega_0 t . \quad (2)$$

В этой формуле знак минус учитывает противофазность переменных напряжений на сетке и аноде лампы. **Минимальное мгновенное напряжение на аноде** $e_{a \min}$ называется **остаточным напряжением**. На рис. 4 построены диаграммы мгновенных напряжений на сетке и аноде, а также графики анодного и сеточного тока с амплитудами I_{ma} и I_{mg} . Анодный ток протекает через лампу не всё время, а лишь тогда, когда мгновенное напряжение на сетке превышает напряжение запираения лампы E_g' , т.е. в интервале времени $t_1 \div t_2$. Наибольшего значения анодный ток достигает тогда, когда напряжение на сетке максимально $e_{g \max}$ а на аноде минимально $e_{a \min}$:

$$\begin{aligned} e_{g \max} &= E_g + U_{mg} \\ e_{a \min} &= E_a - U_{ma} \end{aligned} \quad (3)$$

Ток управляющей сетки течёт в интервале времени $t_3 \dots t_4$, когда мгновенное значение напряжения на сетке $e_g > 0$.

Ток экранной сетки начинается одновременно с анодным и имеет одинаковый с ним угол отсечки $\theta_{g2} = \theta_a$. На диаграмме этот ток не изображен.

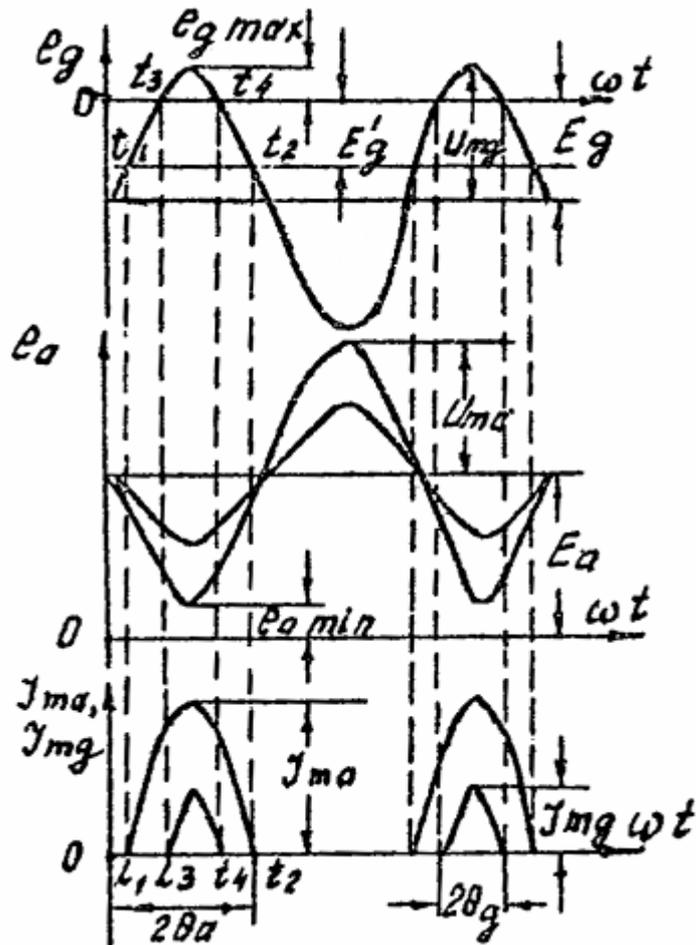


Рис. 4

В зависимости от величины сеточного тока режимы генератора с внешним возбуждением подразделяются на *недонапряжённый*, *критический* и *перенапряжённый*. Режим называется недонапряжённым, если ток в цепи сетки мал по сравнению с анодным, и перенапряжённым – если сеточный ток составляет значительную часть анодного тока. Режим, промежуточный между ними, называется критическим. В триодных генераторах напряженность режима устанавливается по току управляющей сетки, а в тетродных и пентодных – по току экранной сетки. В критическом режиме сеточный ток составляет 10–15% от анодного.

Наибольшего значения сеточный ток достигает в момент, когда напряжение на аноде равняется остаточному $e_{a \min}$, а напряжение на управляющей сетке максимально $e_{g \max}$. Следовательно, о напряжённости режима можно судить по соотношению $e_{a \min}$ и $e_{g \max}$.

Так как $e_{a \min} = E_a - U_{ma}$, где амплитуда анодного напряжения $U_{ma} = I_{a1} R_{oe}$, I_{a1} – амплитуда первой гармоники анодного тока, R_{oe} – сопротивление анодной нагрузки, то при $I_{a1} = const$ остаточное напряжение, а, следовательно, и напряженность режима будут определяться сопротивлением нагрузки.

При малом сопротивлении R_{oe} остаточное напряжение на аноде $e_{a \min}$ велико, следовательно, сеточный ток мал и режим является недонапряжённым; при большом сопротивлении R_{oe} режим будет перенапряжённым.

Форма импульса анодного тока существенно зависит от напряжённости режима. В недонапряжённом режиме импульсы анодного тока имеют косинусоидальную форму. В перенапряжённом режиме, когда остаточное напряжение становится малым, сеточный ток достигает большой величины, и в вершине импульса анодного тока наблюдается характерный провал. Режим, промежуточный между перенапряжённым и недонапряжённым, называется критическим. В критическом режиме вершина импульса анодного тока имеет небольшое уплощение, сопротивление анодной нагрузки, соответствующее этому режиму, обозначается $R_{окр}$. **Отношение $\xi = \frac{U_{ma}}{E_a}$ называется коэффициентом использования анодного напряжения.** В критическом режиме

$$\xi = \xi_{кр} = \frac{U_{макр}}{E_a}.$$

Обычными значениями для $\xi_{кр}$ являются 0,8 ... 0,9. Режим будет недонапряжённым, если $\xi < \xi_{кр}$, и перенапряжённым, если $\xi > \xi_{кр}$.

Характер изменения режима генератора при изменении сопротивления анодной нагрузки можно пронаблюдать с помощью динамических характеристик анодного тока.

При работе генератора происходит одновременное изменение напряжения на сетке и на аноде. **Кривая, отображающая изменение анодного тока при одновременном изменении напряжения на сетке и аноде, называется динамической характеристикой.**

Динамические характеристики могут быть построены как в сеточной $i_a = f(e_g)$, так и в анодной $i_a = f(e_a)$ системах координат.

1) В сеточной системе координат две идеализированные динамические характеристики изображены толстыми линиями на рис. 5а. Их наклон всегда меньше, чем наклон статических ламповых характеристик, т. к. увеличение напряжения на сетке сопровождается уменьшением анодного напряжения. Исключение составляет случай, когда анодная нагрузка $R_{oe} = 0$ (характеристика 1). При этом динамическая характеристика совпадает со статической при $e_a = E_a$.

Вид динамической характеристики существенно зависит от напряженности режима генератора. В недонапряжённом или критическом режиме, т.е. при $0 \leq R_{oe} \leq R_{окр}$, динамическая характеристика представляется прямой линией, для построения которой достаточно знать две точки. Из выражений 1 и 2 имеем:

$$\text{точка А: } \cos w_0 t = 1, e_g = e_{g \max}, e_a = e_{a \min},$$

$$\text{точка Б: } \cos w_0 t = 0, e_g = E_g, e_a = E_a.$$

В перенапряжённом режиме – характеристика 4.

Участок динамической характеристики, лежащей в области отрицательных значений анодного тока $i_a < 0$, является нереальным (пунктир). Значение анодного тока, соответствующее точке Б, называется током покоя i_n . **Ток покоя – это анодный ток при отсутствии напряжения возбуждения.** Ток может быть нереальным при $\theta < 90^\circ$ (как на рис. 5), реальным при $\theta > 90^\circ$ или равным нулю при $\theta = 90^\circ$.

2) В анодной системе координат построение динамических характеристик для $\theta a < 90^\circ$ показано на рис. 5. Координаты точки Б, соответствующей току покоя, определяются значениями E_a и E_g . Её положение фиксировано для всех динамических характеристик. Точка А, которой заканчивается динамическая характеристика, лежит на статической характеристике для $e_g = e_{g \max}$. Её положение меняется при изменении остаточного напряжения $e_{a \min}$.

Динамическая характеристика 1 соответствует короткому замыканию нагрузки $U_{та} = 0$, а характеристика 2 – недонапряжённому режиму при $U_{та} < U_{такр}$ и нагрузке в анодной цепи $R_{oe} < R_{окр}$. Характеристика 3 соответствует критическому режиму, при котором $R_{oe} = R_{окр}, e_{a \min} = e_{a \min кр}$.

Динамические характеристики 4 и 5 относятся к перенапряжённому режиму. Для первой из них остаточное напряжение $e_{a \min} < e_{a \min кр}$ и $1 > \xi > \xi_{кр}$, а для второй $e_{a \min} \leq 0$ и $\xi > 1$. В случае 1, 2 и 3 импульс анодного тока имеет косинусоидальную форму, а его амплитуда $I_{та}$ уменьшается незначительно. В случае 4 импульс имеет провал, а при 5 разделяется на две части.

Динамическая характеристика в сеточной системе координат для импульса с провалом (случай 4) изображена на рис. 5 справа.

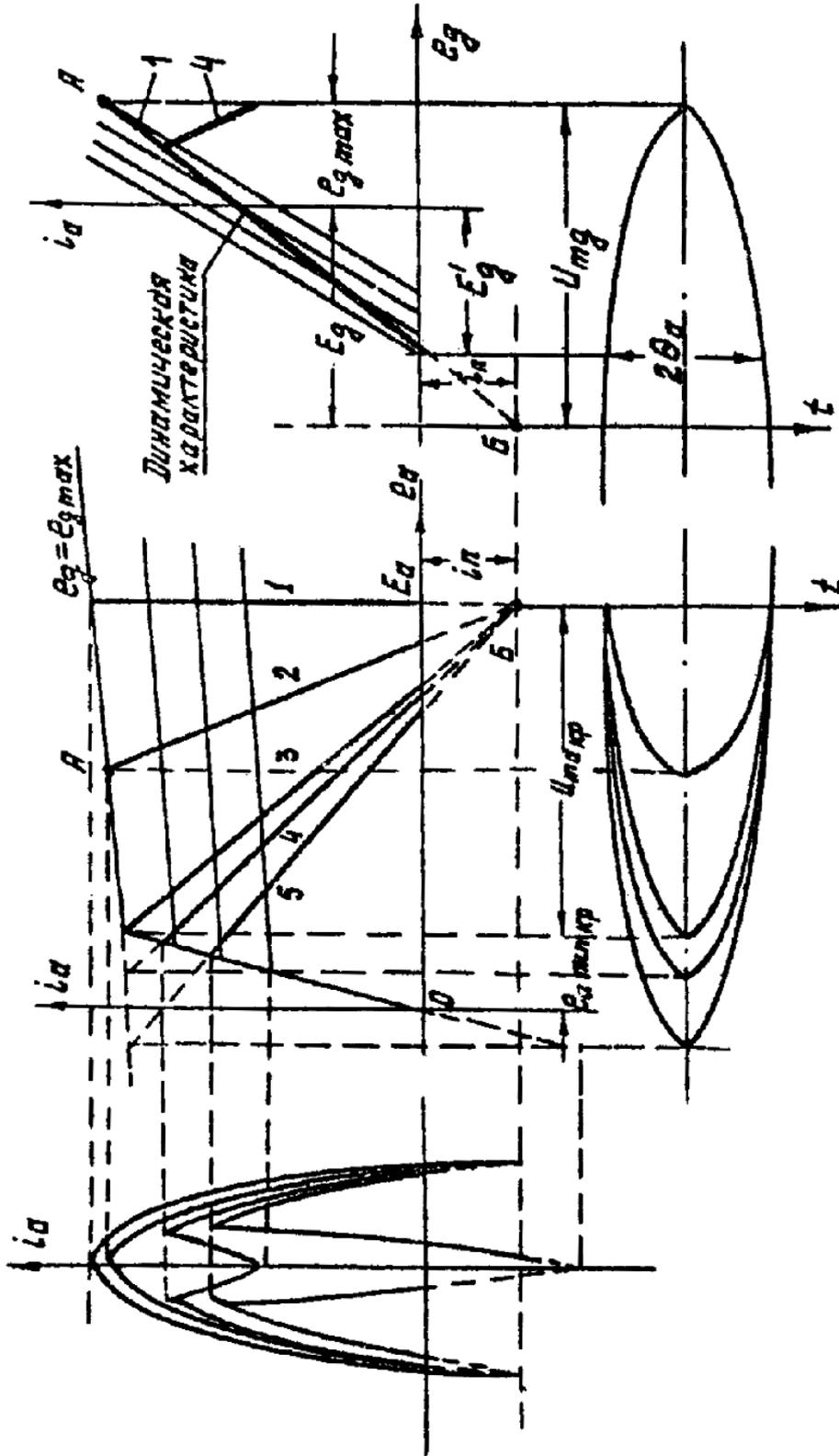
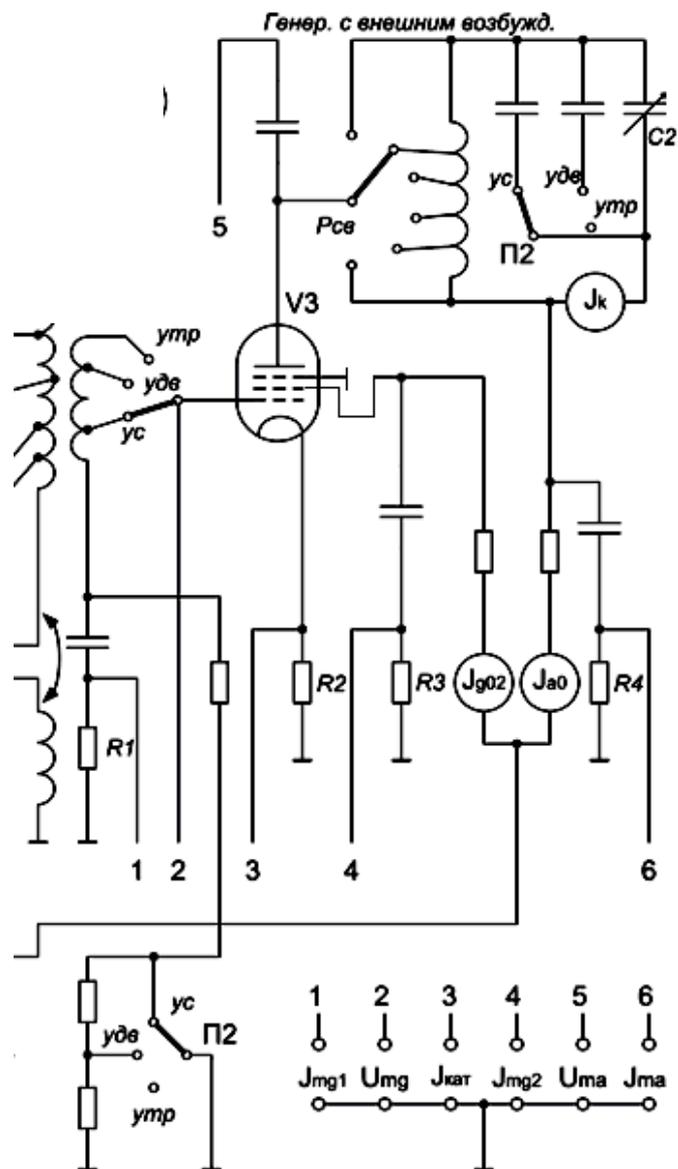


Рис. 5

РАБОТА № 1 ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ ИМПУЛЬСОВ ГЕНЕРАТОРА С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

- ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** 1. Наглядно изучить деформации импульсов тока генераторной лампы при изменении её режима.
2. Выяснить изменения составляющих токов импульса при его деформации.
3. Определить пути циркуляции токов в цепях ступени.

СХЕМА



КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Углы отсечки анодного тока θ_a и тока управляющей сетки θ_g лампы определяются по формулам:

$$\cos \theta_a = \frac{E'_g - E_g}{U_{mg}}, \quad \cos \theta_g = -\frac{E_g}{U_{mg}},$$

где E'_g – напряжение запираения лампы,

E_g – напряжение смещения,

U_{mg} – амплитуда напряжения возбуждения.

Напряжения E_g и E'_g должны подставляться в формулы со своим знаком.

При $E_g = E'_g$, $\theta_a = 90^\circ$.

При $|E_g| > |E'_g|$, $\theta_a < 90^\circ$.

При $|E_g| < |E'_g|$, $\theta_a > 90^\circ$.

Эквивалентное резонансное сопротивление параллельного контура $R_{\text{оконт}}$ при его неполном включении (рис. 6) создаёт в анодной цепи лампы сопротивление $R_{\text{оэ}}$

$$R_{\text{оэ}} = \frac{(wL_a)^2}{r_k} = \frac{(wL_a)^2}{wL_k} \frac{wL_k}{r_k} = p_{\bar{n}\bar{a}}^2 \frac{\rho^2}{r_k} = p_{\bar{n}\bar{a}}^2 R_{\text{оэит0}},$$

где L_a и L_k – индуктивности катушек связи и контура,

r_k – сопротивление потерь контура.

$p_{\bar{n}\bar{a}} = \frac{L_a}{L_k} < 1$ – коэффициент включения контура в анодную цепь лампы,

$\rho = \omega L_k = \frac{1}{\omega C_k}$ – волновое сопротивление, $\omega = 2\pi f$, в режиме усиления $f = f_0$,

в режиме умножения $f = n f_0$ (здесь f_0 – частота входного сигнала, n – коэффициент умножения).

Коэффициент включения также может быть записан в виде

$$p_{\bar{n}\bar{a}} = \frac{U_{ma}}{U_{mk}} \approx \frac{n_a}{n_k},$$

где n_a и n_k – число витков катушек L_a и L_k соответственно.

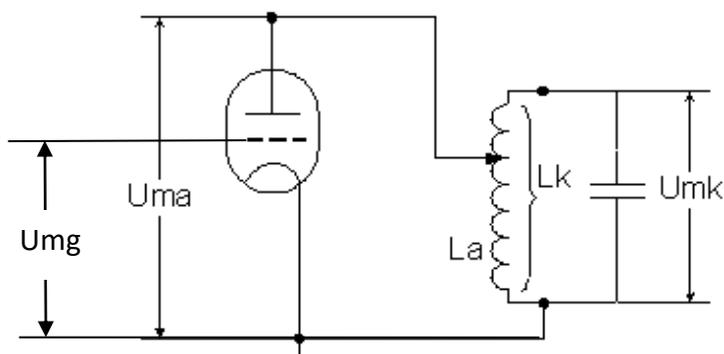


Рис. 6.

Изменяя коэффициент включения $p_{св}$, можно менять нагрузку в анодной цепи и напряжённость режима генератора.

Процесс формирования импульсов анодного тока при разных значениях R_{oe} показан на рис. 5. С ростом R_{oe} увеличивается напряжённость режима, уменьшается анодный ток, а сеточные токи нарастают. В перенапряжённом режиме из-за чрезмерного нагрева могут выйти из строя сетки лампы, а в недонапряжённом режиме – анод, из-за возрастания анодного тока.

На практике применяются критический или слегка перенапряжённый режимы, характеризующиеся наибольшей полезной мощностью и к.п.д.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить схему.
2. Включить автоматическое смещение автогенератора и установить движок сопротивления автосмещения в среднее положение.
3. Ручку переключателя обратной связи автогенератора поставить в положение, соответствующее максимальной связи, а ручку переменного конденсатора контура автогенератора в среднее положение.
4. Переключатель «Способ Ч.М.» поставить в положение «Выкл.».
5. Установить переключатель рода работы в положение «Усил.», а переключатель анодной связи – в положение максимальной связи.
6. Подключить к гнездам I_{ma} осциллограф.
7. Включить установку и подать напряжение на автогенератор и исследуемую ступень (ручка «Способ Ч.М.» должна находиться в положении «Выкл.»).
8. Получить на экране осциллографа отчётливое изображение не менее двух импульсов анодного тока и подстроить контур выходной ступени в резонанс. Момент наступления резонанса можно отметить:
 - а) по максимуму тока в контуре I_k или в цепи сетки I_{g02} ,
 - б) по минимальному току анода I_{a0} ,
 - в) по симметрии провала импульса анодного тока на экране осциллографа.

Операции, перечисленные в пунктах 1 – 8, являются подготовительными. После их выполнения приступить непосредственно к выполнению работы.

1. Критический режим.

Переключателем анодной связи $P_{св}$ и подстройкой контура в резонанс добиться режима, близкого к критическому, что определяется по уплощению вершины импульса анодного тока. Записать значения токов I_{g02}, I_{a0} по показаниям приборов, с помощью осциллографа пронаблюдать и зарисовать эпюры напряжений и токов $U_{mg}, U_{ma}, I_{ma}, I_{mg2}$ и одновременно измерить углы отсечки и амплитуды указанных токов. Результаты свести в таблицу.

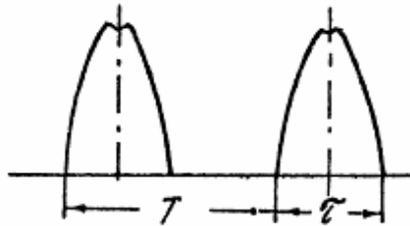


Рис. 7.

Частота развёртки осциллографа подбирается такой, чтобы на экране наблюдалось 2 – 3 исследуемых импульсов. Искажения осциллограмм, вызванные наводками, при зарисовке не воспроизводить.

При определении амплитуд импульсов токов I_{mg2}, I_{ma} учитывать, что осциллограммы этих токов снимаются с измерительных резисторов $R1-R4$, причём $R1=50$ Ом, остальные по 10 Ом.

Углы отсечки токов определяются по осциллограммам (см. рис. 7) по формуле

$$\theta = \frac{360}{2} \cdot \frac{\tau}{T},$$

где τ – длительность импульса, T – период следования.

2. Перенапряжённый режим.

Изменением $P_{св}$ установить перенапряжённый режим генератора, пронаблюдать и зарисовать формы токов и напряжений. Особое внимание обратить на форму импульса анодного тока.

3. Режим умножения.

Понаблюдать и зарисовать эпюры U_{mg}, U_{ma}, I_{ma} для режимов удвоения и утроения. Обратить внимание на соотношение частот этих токов и напряжений.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для критического режима усиления по измеренным амплитудам и углам отсечки вычислить постоянные составляющие токов I_{g02}, I_{a0} и сравнить полученные величины с записанными ранее показаниями соответствующих приборов:

$$I_{a0} = \alpha_0 I_{ma}, \quad I_{g02} = \alpha_0 I_{mg2},$$

где соответствующие коэффициенты Берга определяются по графику на рис.7а.

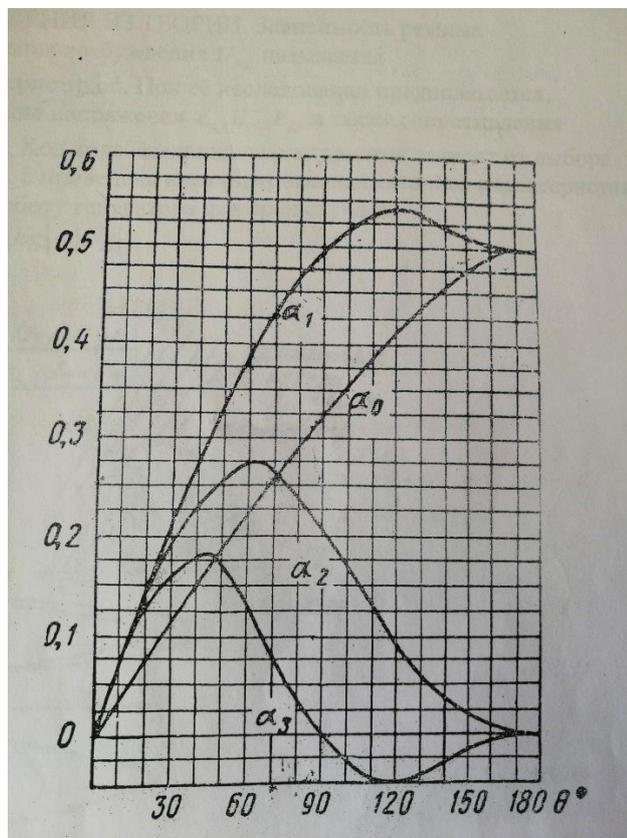


Рис.7а.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА

В отчёте представить:

- краткое содержание и схему работы,
- для критического режима усиления – эюры всех напряжений и токов, согласованные по фазе, как это сделано на рис. 8,
- для режимов умножения эюры U_{mg}, I_{ma}, U_{ma} также согласованные по фазе,
- анализ полученных результатов и выводы по работе.

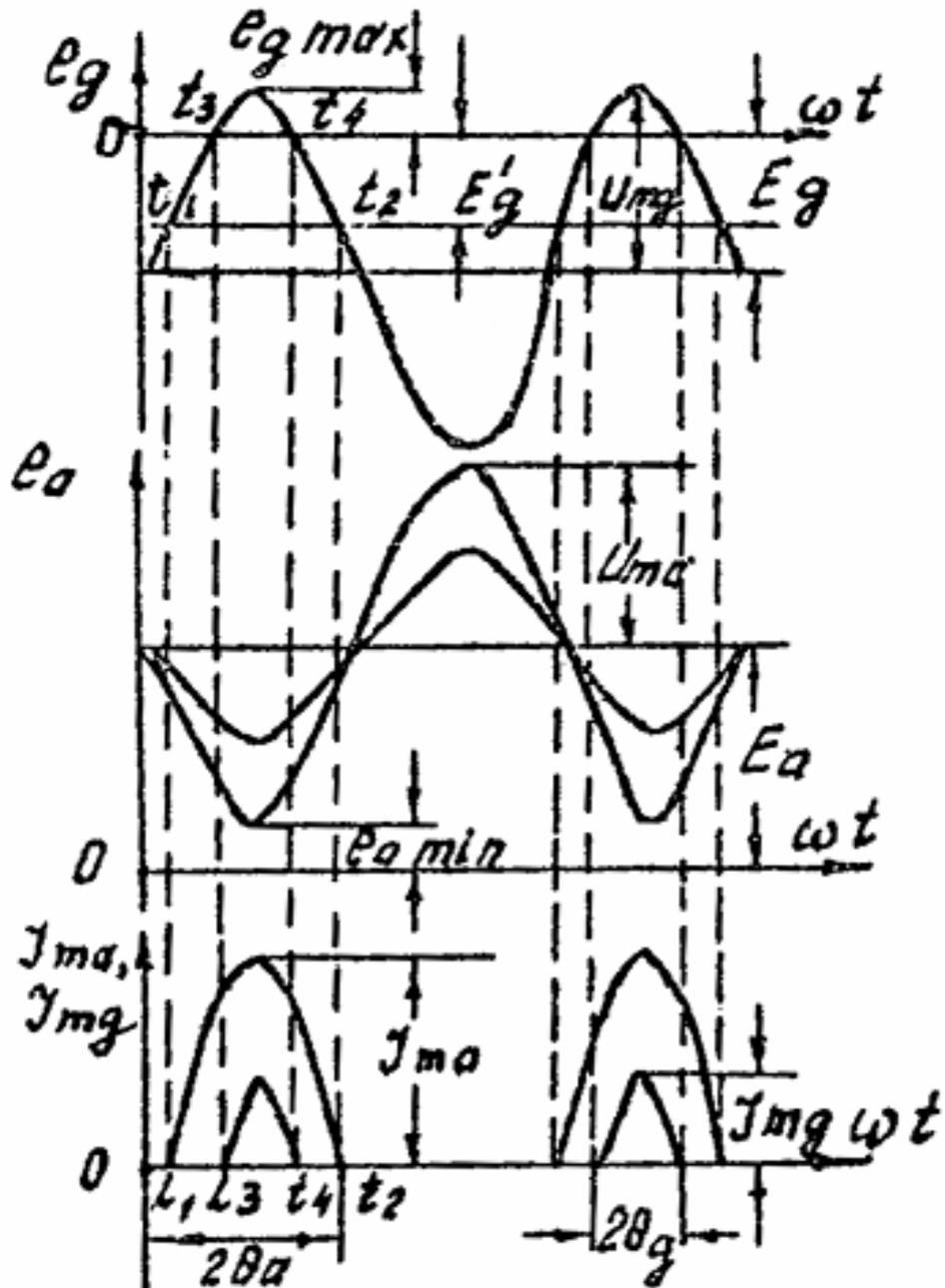


Рис 8.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Начертите диаграммы работы генератора с внешним возбуждением (эпюры токов и напряжений) при усилении в недонапряжённом режиме.
2. То же в перенапряжённом.
3. То же при утроении, удвоении.
4. Почему в перенапряжённом режиме при усилении импульс анодного тока имеет провал? Объясните это с помощью построения на анодной характеристике.
5. Что изменится в построении рис. 5, если принять $\theta_a=120^\circ$?
6. Какие Вам известны способы изменения анодной нагрузки? Выразите это математически.
7. Напишите, как выражается колебательная мощность P_1 через $I_{a1}, I_{ma}, U_{ma}, R_{oe}, I_k$.
8. В какие точки схемы следует включить приборы для измерения $I_{a0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n$? Куда включать не следует и почему?

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с.
2. Дегтярь Г. А. Устройства генерирования и формирования сигналов: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – Часть 1. – 480 с.
3. Ильин А.Г. Устройства формирования сигналов. Генераторы с внешним возбуждением. Автогенераторы. Часть 1: Учебное пособие. – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 91 с. [Электронный ресурс]. - <http://tu.tusur.ru/upload/posobia/i3.doc>
4. А.Д. Бордус. Руководство для выполнения лабораторных работ по курсу «УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕНЕРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ». – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 46 с. Дата создания: 1.11.2012. [Электронный ресурс]. - <http://tu.tusur.ru/upload/posobia/b16.doc>
5. А.Д. Бордус, Г.Д. Казанцев, А.Г. Ильин. Методическое пособие по практическим занятиям и проверочные тесты по дисциплине «Устройства генерирования и формирования сигналов». – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 44 с. Дата создания: 1.11.2012. [Электронный ресурс]. - <http://tu.tusur.ru/upload/posobia/b15.doc>

РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА ПРИ
ИЗМЕНЕНИИ ПИТАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Исследование зависимости режима генератора от напряжений возбуждения и смещения.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ. Зависимость анодного тока от напряжения возбуждения U_{mg} называется колебательной характеристикой. При её исследовании предполагается, что питающие напряжения E_g, E_{g2}, E_a , а также сопротивление нагрузки не меняются.

Ход колебательных характеристик зависит от выбора рабочей точки. На рис. 8 приведены идеализированные сеточные характеристики лампы, поясняющие работу генератора для трёх случаев:

$$|E_g| > |E'_g|, E_g = E'_g \text{ и } |E_g| < |E'_g|.$$

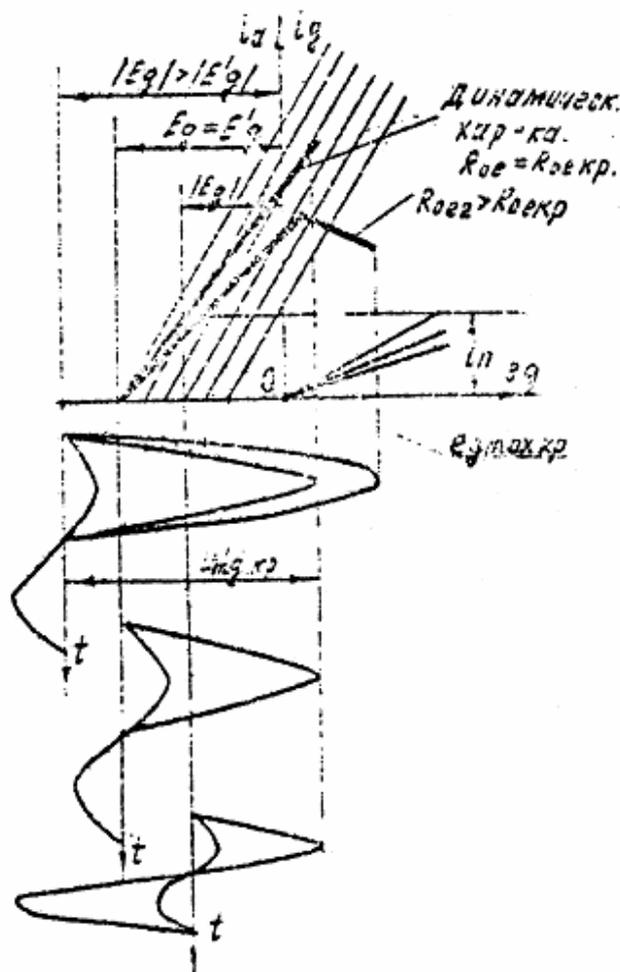


Рис. 8

В случае $|Eg| > |E'g|$ при малых амплитудах возбуждения лампа закрыта. При некоторой амплитуде U_{mg} появляются импульсы анодного тока, их амплитуда и угол отсечки возрастают с увеличением U_{mg} . Соответственно возрастают постоянная составляющая $I_{a0} = \alpha_0 \cdot I_{ma}$ и первая гармоника анодного тока $I_{a1} = \alpha_1 \cdot I_{ma}$ (см. рис. 9).

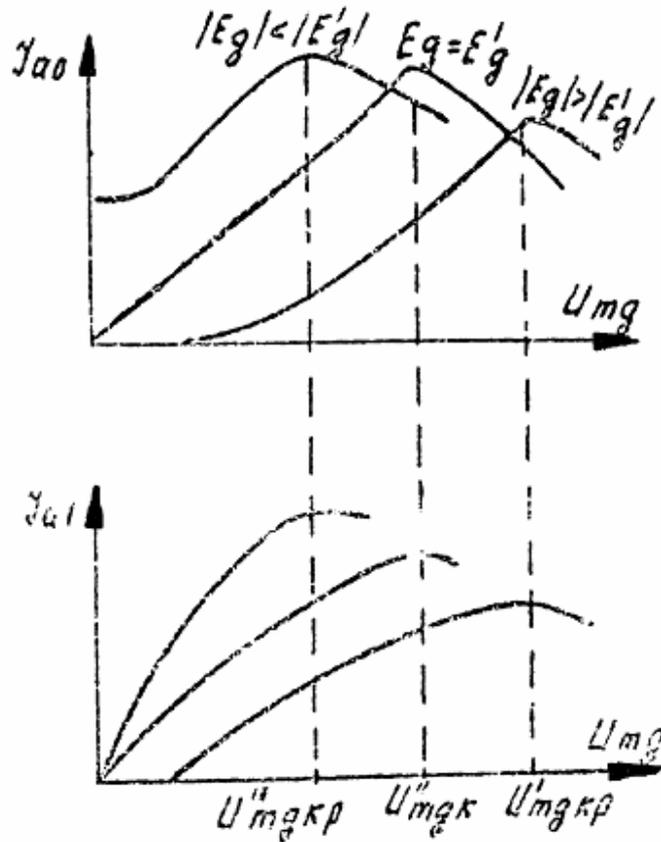


Рис. 9.

Дальнейшее увеличение напряжения возбуждения U_{mg} сопровождается появлением сеточного тока и увеличением напряжённости режима, который вначале становится критическим, а затем переходит в перенапряжённый. Динамическая характеристика анодного тока приобретает перегиб, характерный для перенапряжённого режима. Импульс анодного тока из косинусоидального превращается в уплощённый, а затем в нём появляется провал, приводящий к уменьшению I_{a0} и I_{a1} . Характерно, что угол отсечки для данного случая увеличивается от 0° , но не достигает 90° .

При $Eg = E'g$ угол отсечки равен 90° и остаётся постоянным при любом U_{mg} . Импульсы анодного тока появляются практически с нулевой амплитуды U_{mg} , растут с возрастанием U_{mg} , а при заходе в перенапряжённый режим начинают уменьшаться.

Если $|Eg| < |E'g|$, то при $U_{mg} = 0$ через лампу протекает ток покоя $i_n > 0$, который фиксируется прибором как I_{a0} , переменная же составляющая анодного тока, т.е. I_{a1} , отсутствует. При малых амплитудах U_{mg} , пока нет отсечки анодного тока, последний имеет форму косинусоиды, и амплитуда его нарастает пропорционально U_{mg} . Постоянная же составляющая I_{a0} не меняется, оставаясь равной току покоя $I_{п}$. С некоторой амплитуды U_{mg} начинается отсечка анодного тока, и с этого момента растут уже обе составляющих тока I_{a1} и I_{a0} , а дальше ведут себя аналогично предыдущим случаям. Характерно, что угол отсечки убывает здесь от 180° , но не становится ниже 90° .

Сравнивая эти три случая, необходимо отметить, что чем меньше $|Eg|$, тем при меньшем U_{mg} наступает критический режим. Это можно понять из рис. 8, откуда видно, что критический режим (для заданного R_{oe}) наступает при определённом $e_{g \max} = E_g + U_{mg}$.

Колебательные характеристики для различных R_{oe} при прочих равных условиях можно объяснить, исходя из того, что при увеличении R_{oe} динамическая характеристика анодного тока в сеточных координатах опускается вниз, и критический режим наступает при меньшем $e_{g \max}$.

Это в свою очередь связано с тем, что с ростом R_{oe} растёт U_{ma} и, соответственно, уменьшается $e_{a \min}$, что приводит к уменьшению анодного тока и возрастанию сеточных токов.

Зависимость режима генератора от напряжения смещения E_g во многом подобна зависимости от напряжения возбуждения U_{mg} .

Действительно, как было показано ранее, режим генератора в сильной степени определяется величиной максимального мгновенного напряжения на управляющей сетке $e_{g \max} = E_g + U_{mg}$. Отсюда видно, что приблизительно равный эффект можно получить изменением E_g или U_{mg} . При $U_{mg} = const$ изменением E_g можно получить $e_{g \max} < E'g$, что соответствует запираению лампы, или $e_{g \max} = e_{g \max \text{ кр}}$.

Процессы, происходящие в лампе при изменении E_g и $U_{mg} = const$, отображаются на рис. 10а.

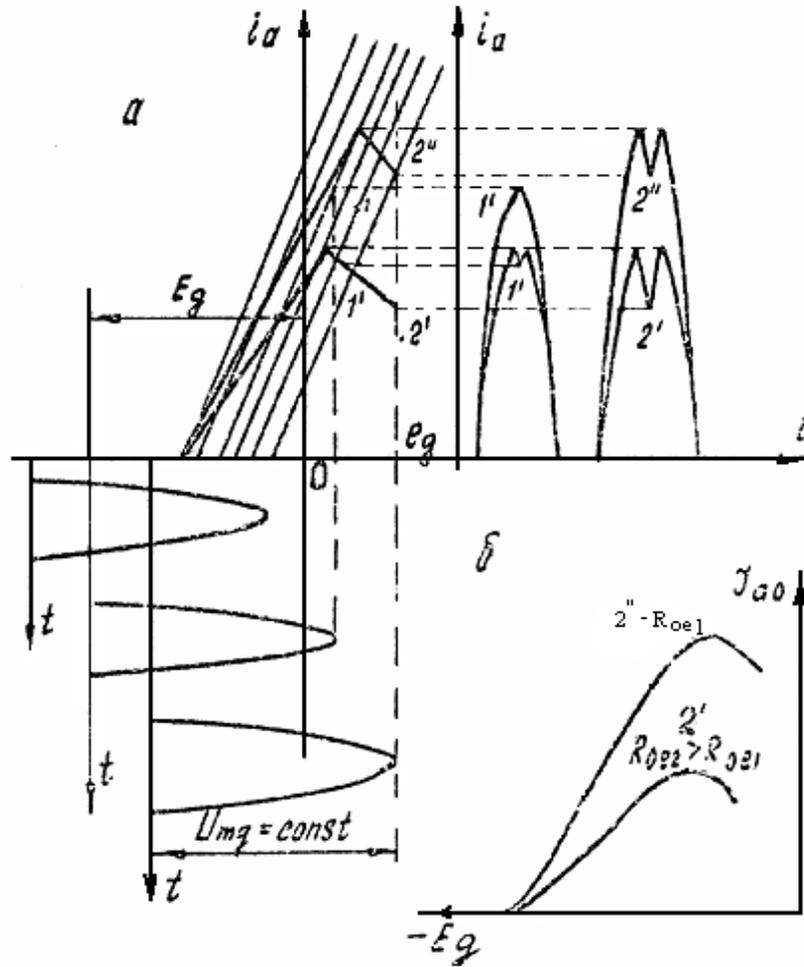


Рис. 10

С уменьшением смещения $|E_g|$ увеличивается высота импульса анодного тока I_{ma} и его угол отсечки, а следовательно, возрастают первая гармоника I_{a1} и постоянная составляющая I_{a0} анодного тока, т.к.

$$I_{a1} = \alpha_1 \cdot I_{ma} \quad ,$$

$$I_{a0} = \alpha_0 \cdot I_{ma} \quad .$$

При малых величинах $|E_g|$ появляется сеточный ток, увеличивается напряжённость режима, а затем в импульсе анодного тока появляется провал, I_{a1} и I_{a0} уменьшаются. График для I_{a0} приведён на рис. 10б. Нелинейность в нижней части графика объясняется криволинейностью нижнего участка реальной характеристики лампы, а в верхней части перегиб происходит за счёт наступления перенапряжённого режима.

Увеличение эквивалентного сопротивления анодной нагрузки приводит к более раннему наступлению перенапряжённого режима, и протяжённость линейного участка I_{a0} уменьшается ($R_{oe2} > R_{oe1}$ на рис. 10б).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить схему.
2. Включить источники смещения и накала ламп (тумблер ТП – 1).
3. Подать напряжение на задающий генератор и промежуточный каскад (тумблер ТП – 2).
4. Поворотом ротора конденсатора $C_{A.G.}$ в анодной цепи задающего генератора добиться его устойчивой работы с амплитудой тока в контуре 70 – 80% от максимальной (схема включения кварца может быть любой).
5. Подать напряжение на выходной каскад (ТП - 3) и поворотом ручки регулятора на блоке питания установить $E_a = 240 - 250 В$.
6. Установить напряжение смещения E_g в выходном каскаде, соответствующее углу отсечки анодного тока 90° .

ПРИМЕЧАНИЕ: при $\theta_a = 90^\circ$ $E_g = E'_g$ (рис. 11).

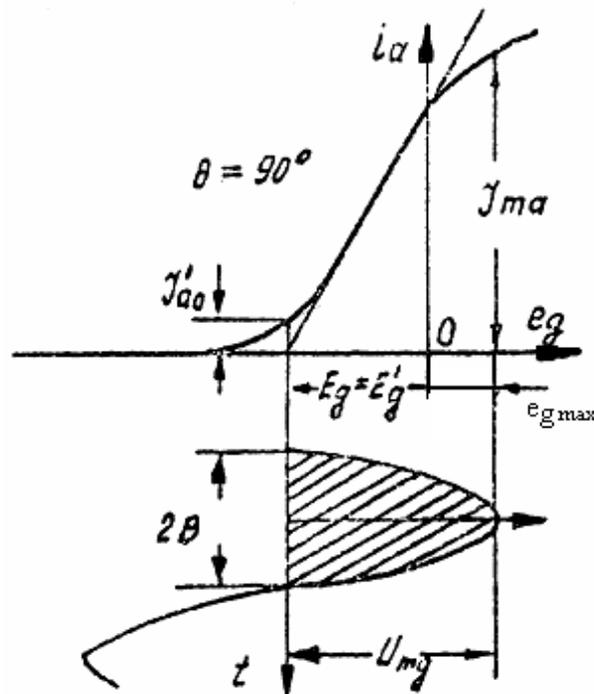


Рис. 11

Экспериментально определить E'_g можно следующим образом:

- а) снять напряжение возбуждения, т.е. установить $U_{mg}=0$;
- б) изменяя напряжение смещения, установить $I'_{a0} = 5 мА$, поддерживая $E_a = const$. Найденное значение смещения будет соответствовать напряжению запирания для идеализированной характеристики ГУ 50.

7. Вариометр выходного каскада поставить в положение средней связи с нагрузкой ($X_{св} = 3 - 4$) и настроить анодный контур в резонанс.
8. Снять колебательные характеристики $I_{a0}, I_{a01}, I_{g02}, I_k, I_n = f(U_{mg})$ для

трёх случаев:

- а) $\theta = 90^\circ, E_g = E'_g,$
 б) $\theta < 90^\circ, |Eg| = |E'g| + 30B,$
 в) $\theta > 90^\circ, |Eg| = |E'g| - 30B.$

Кроме этого, при $E_g = E'_g$ снять колебательные характеристики для связи $X_{св}$, отличающейся от установленной ранее на 2–3 деления по шкале связи.

Напряжение возбуждения изменять от нуля до максимального значения через 10 вольт. После каждого изменения U_{mg} проверять установку E_g и E_a .

В каждом случае особо отметить значения $U_{mg} = U_{mgкр}$, при котором ток в нагрузке максимален (режим максимальной мощности).
 Полученные данные занести в таблицу.

U_{mg}, B	0	10	20			Примеч.
I_{a0}, mA						$E_g =$
I_{a01}, mA						$E_a =$
I_{a02}, mA						$X_{св} =$
$I_{кдел}$						$E'g =$
$I_{ндел}$						

По полученным данным построить графики. Провести анализ полученных результатов.

9. Исследовать зависимость режима генератора от напряжения смещения $I_{a0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n = f(E_g)$ (при $U_{mg} = 70B$ и $E_a = const$ для $X_{св} = 3$ и $X_{св} = 1$).
 Напряжение смещения изменять в максимально возможных пределах через 10 вольт. После каждого изменения E_g производить проверку начальных значений U_{mg} и E_a . Полученные данные занести в таблицу.

Eg, B	-30	-40	-50	-60	...	-120	Примеч.
I_{a0}, mA							$U_{mg} =$
I_{a01}, mA							$E_a =$
I_{a02}, mA							$X_{св} =$
$I_k, дел$							$E'_g =$
$I_n, дел$							

По полученным данным построить графики. Провести анализ полученных результатов.

В отчёте представить:

- а) краткое содержание и схему работы,
- б) таблицы и графики наблюдений,
- в) выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Покажите пути постоянных и переменных составляющих токов сетки и анода в генераторе с внешним возбуждением. Расскажите назначение элементов схемы.
2. Каковы причины перегиба колебательных характеристик?
3. Как определить E'_g по показаниям приборов установки?
4. Каким путём можно увеличить протяжённость линейного участка характеристики $I_n = f(E_g)$ при $U_{mg} = const$?
5. Изобразите на сеточной характеристике лампы угол отсечки анодного тока.
6. Каким способом можно увеличить (уменьшить) напряжённость режима?
7. Каково обычно бывает соотношение между i_a и i_g генератора, работающего в критическом режиме?
8. В какие точки схемы следует включить приборы для измерения $I_{a0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n$? Куда включать не следует и почему?

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с,
2. Под ред. Терентьева Б. П. Радиопередающие устройства, 1972, стр. 64 – 69.

РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ И РЕЗОНАНСНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Исследование зависимости режима генератора от величины анодной нагрузки.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ. Нагрузочные характеристики показывают изменение токов, напряжений и энергетического баланса генератора от сопротивления нагрузки при постоянных E_g, U_{mg}, E_{g2} и E_a .

Из рис. 5 видно, что пока режим генератора остаётся недонапряжённым, высота импульса анодного тока уменьшается незначительно при существенном увеличении сопротивления нагрузки. С переходом в перенапряжённый режим в импульсе анодного тока появляется и расширяется провал одновременно резко падает высота импульса при малом увеличении R_{oe} .

Таким образом, в недонапряжённом режиме:

$$I_{a1} = \alpha_1 \cdot I_{ma} \approx const, \quad I_{a0} = \alpha_0 \cdot I_{ma} \approx const,$$

Амплитуда переменного напряжения на аноде $U_{na} = I_{a1} \cdot R_{oe}$ растёт пропорционально R_{oe} .

В перенапряжённом режиме:

$$I_{a1} = (\alpha_1 - \alpha_{1B}) \cdot I_{ma}, \quad I_{a0} = (\alpha_0 - \alpha_{0B}) \cdot I_{ma},$$

где α_1 и α_0 – коэффициенты разложения косинусоидального импульса анодного тока для «нижнего» угла отсечки, α_{1B} и α_{0B} – то же для «верхнего» угла отсечки. Следовательно, I_{a1} и I_{a0} резко уменьшаются, т.к. растут α_{1B} и α_{0B} и уменьшается I_{ma} .

Переменное напряжение на аноде в перенапряжённом режиме остаётся почти без изменения, т.к. рост R_{oe} компенсируется уменьшением I_{a1} :

$$U_{ma} = I_{a1} \cdot R_{oe} \approx const.$$

Сеточный ток в недонапряжённом режиме мал, т.к. остаточное напряжение e_{amin} велико и большинство электронов с катода, минуя сетку, попадает на анод. В перенапряжённом режиме остаточное напряжение уменьшается, происходит перераспределение тока, и в результате сеточный ток возрастает.

Нагрузочные характеристики изображены на рис. 12.

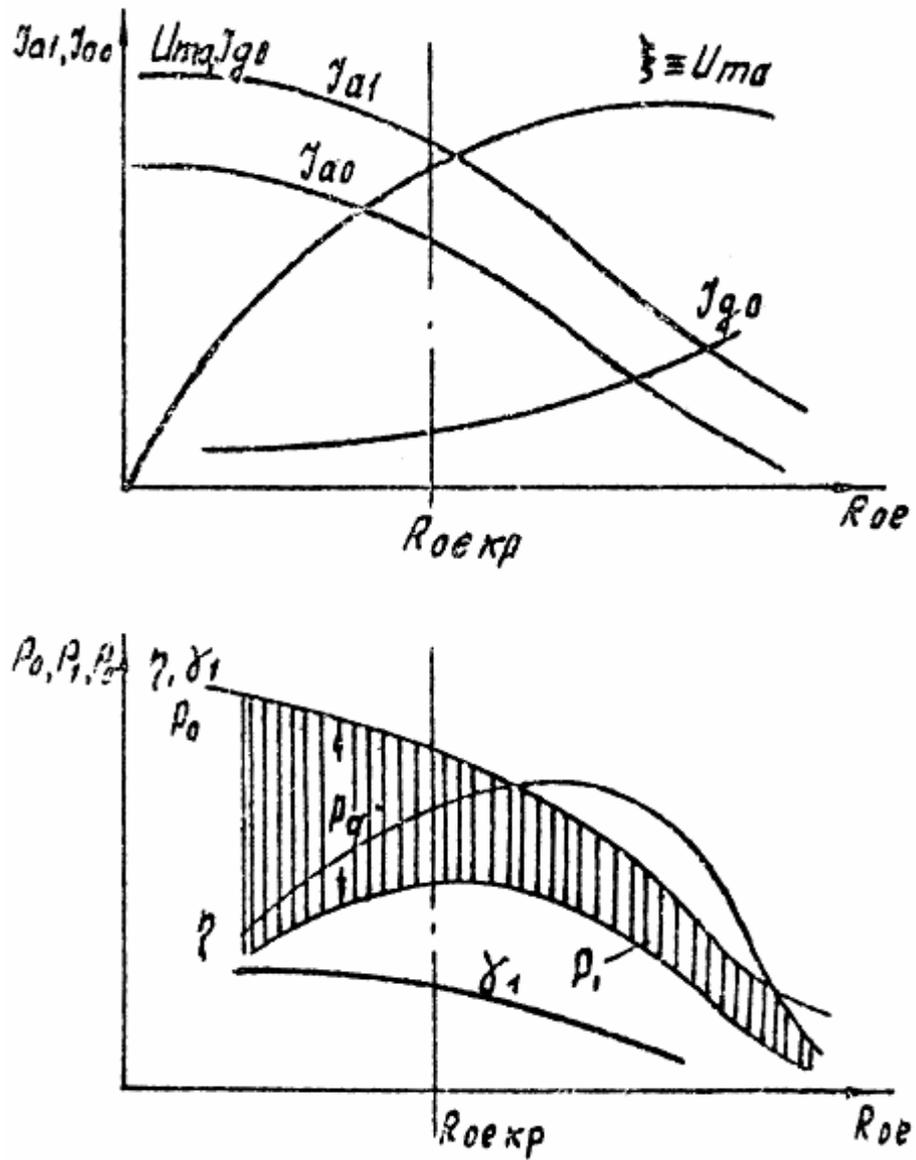


Рис. 12.

Они разделены линией критического режима на две области: недонапряжённого и перенапряжённого режима. Верхний график показывает зависимость

I_{a1}, I_{a0}, U_{ma} и постоянной составляющей сеточного тока I_{g0} от сопротивления нагрузки.

На нижнем графике показано изменение от сопротивления нагрузки трёх мощностей: подводимой к аноду от источника питания P_0 , полезной P_1 и теряемой на аноде P_a . График для P_0 повторяет кривую I_{a0} , т.к. $P_0 = I_{a0} \cdot E_a$.

В недонапряжённом режиме полезная мощность возрастает с ростом нагрузки т.к.

$$P_1 = 0.5 \cdot I_{a1} \cdot U_{ma} = 0.5 I_{a1}^2 \cdot R_{oe}, \text{ а } I_{a1} \approx \text{const},$$

а в области перенапряжённого режима падает т.к.

$$P_1 = 0.5 \cdot I_{a1} \cdot U_{ma} = 0.5 U_{ma}^2 / R_{oe}, \text{ а } U_{ma} \approx \text{const},$$

Максимальное значение P_1 достигает в критическом или слегка перенапряжённом режиме.

График для мощности потерь на аноде определяется в соответствии с выражением $P_a = P_0 - P_1$. С увеличением напряжённости режима она сначала резко падает, а с переходом в перенапряжённый режим падение замедляется. Очевидно, что наиболее тяжёлым для анода является недонапряжённый режим. Такой режим генератора получается, например: когда анодный контур расстроен. Поэтому во избежание выхода генератора из строя настройку следует производить при пониженном анодном напряжении.

Ход графика для ξ объясняется выражением $\xi = \frac{U_{ma}}{E_a}$ и повторяет ход кривой U_{ma} , т.к. $E_a = \text{const}$. В недонапряжённом режиме форма импульса анодного тока и, следовательно, коэффициент формы $\gamma_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$ почти не меняются.

В перенапряжённом режиме в импульсе анодного тока появляется провал, и коэффициент уменьшается. Объяснение характера графика для к.п.д. вытекает из формулы.

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = \frac{0.5 I_{a1} \cdot U_{ma}}{I_{a0} \cdot E_a} = 0.5 \gamma_1 \cdot \xi.$$

При переходе от недонапряжённого режима к критическому к.п.д. увеличивается пропорционально ξ , проходит через тупой максимум в слегка перенапряжённом режиме и затем падает.

Изменение эквивалентного сопротивления R_{oe} можно получить, например, изменением связи с нагрузкой.

Схеме трансформаторной связи с нагрузкой приведена на рис. 13.

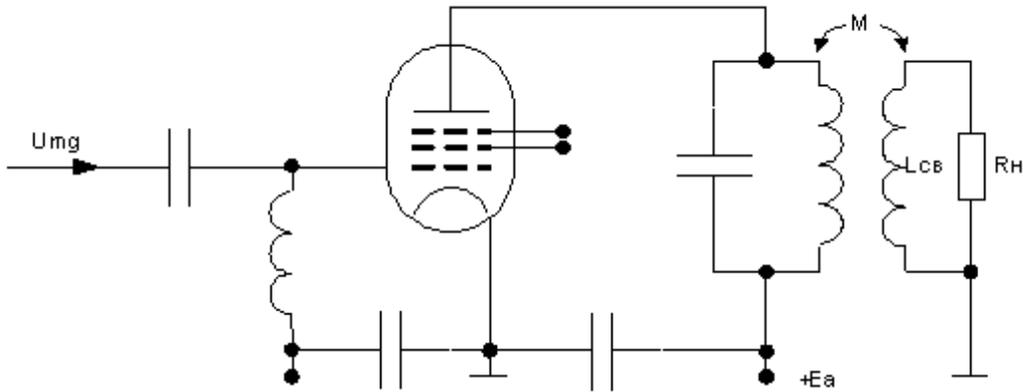


Рис. 13.

Из общей теории связанных контуров для сопротивления, вносимого в анодный контур, можно написать

$$Z_{\text{вн}} = \frac{X_{\text{св}}^2}{Z_{\text{н}}} = \frac{\omega^2 \cdot M^2}{Z_{\text{н}}},$$

где $X_{\text{св}} = \omega M$ – сопротивление связи,

M – коэффициент взаимной индукции,

$Z_{\text{н}}$ – сопротивление вторичной цепи при разомкнутой первичной.

В нашем случае $Z_{\text{н}} = \omega \cdot L_{\text{св}} + R_{\text{н}}$, где $\omega \cdot L_{\text{св}}$ – сопротивление катушки связи.

Обычно $\omega \cdot L_{\text{св}} \ll R_{\text{н}}$ и $Z_{\text{н}} \approx R_{\text{н}}$.

При этом вносимое сопротивление становится чисто активным:

Фактически при изменении связи происходит некоторая расстройка контура, поэтому нужно подстраивать контур в резонанс конденсатором после каждого изменения связи.

Эквивалентное сопротивление нагруженного контура

$$R_{\text{оен}} = \frac{\rho^2}{r_{\text{соб}} + r_{\text{вн}}},$$

где $r_{\text{соб}}$ – сопротивление собственных потерь контура.

Из изложенного следует, что с увеличением связи увеличивается вносимое сопротивление, а напряжённость режима падает и наоборот.

Зависимость режима генератора от настройки анодного контура называется настроечной или резонансной характеристикой. Резонансная характеристика может быть объяснена на основании только что рассмотренных нагрузочных характеристик.

Действительно, при резонансе сопротивление контура максимальное и чисто активно, что соответствует наиболее напряжённому режиму работы

генератора. При всякой расстройке контура его сопротивление уменьшается по модулю, благодаря чему режим становится недонапряженным, I_{a0} увеличивается, а $I_{g01}, I_{g02}, U_{ma}, I_k$ уменьшаются. Следует также учесть, что сопротивление контура становится комплексным, и, отсюда, появляется фазовый сдвиг φ между I_{a1} и U_{ma} . Всё это приводит к резкому снижению полезной мощности

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot I_{a1} \cdot U_{ma} \cdot \cos\varphi.$$

Потребляемая же от источника питания мощность $P_0 = E_a \cdot I_{a0}$ возрастает, соответственно мощность, рассеиваемая анодом $P_a = P_0 - P_1$, резко увеличивается, и лампа может выйти из строя. Поэтому, если контур расстроен, следует уменьшить напряжение E_a .

Одновременно оказывается, что напряжение U_a уже не противофазно U_g , из-за чего наблюдается несимметрия импульса анодного тока, которая особенно заметна для импульсов с провалом – провал получается не посередине импульса.

Таким образом, по несимметрии импульса анодного тока можно судить о наличии и характере расстройки контура. Рисунок 14 иллюстрирует изложенное.

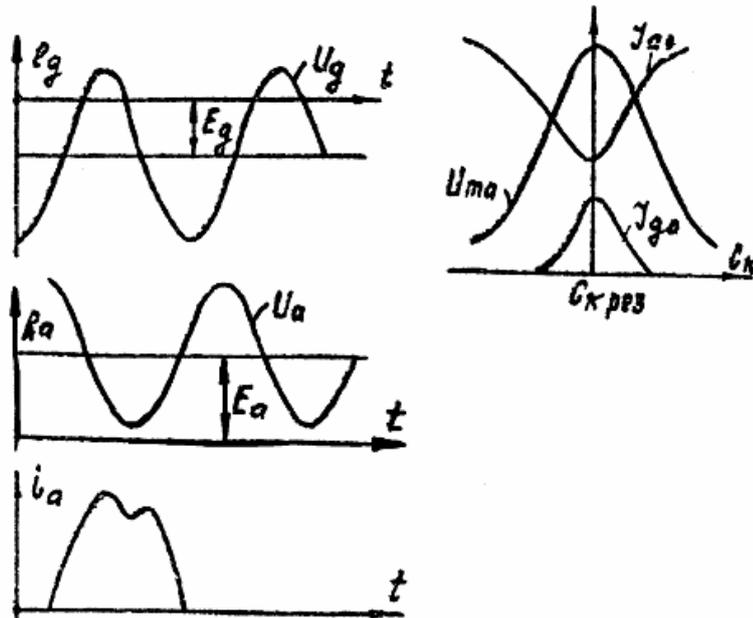


Рис. 14.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Повторить операции, предусмотренные пунктами 1 – 5 предыдущей работы.
2. Подать на сетку выходного каскада смещение $Eg = E'g$ и напряжение возбуждения, соответствующее полному использованию лампы по току – $e_{g \max} = 20V$
3. Вариометр выходного каскада установить в положение минимальной связи с нагрузкой $x_{св} = 0$, и настроить контур в резонанс. Проверить установку исходных значений E_g, U_{mg}, E_a .
4. Изменяя связь от минимальной до максимальной, снять зависимости $I_{a0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n, U_n = f(X_{св})$. После каждого измерения связи производить подстройку контура в резонанс и поддерживать E_g, U_{mg}, E_a постоянными.

Полученные данные занести в таблицу.

$x_{св}$	0	1	2	3	4	5	6	Примеч.
I_{a0}								$Eg =$ $U_{mg} =$ $Ea =$
I_{a01}								
I_{a02}								
I_k								
I_n								
U_n								

5. Снять те же зависимости при $e_{g \max} = 0$
6. Используя полученные экспериментальные данные, определить P_0, P_1, P_a и η для каждого значения связи.

Данные свести в таблицу.

$x_{св}$	0	1	2	3	4	5	6	Примеч.
$P_0 = E_a \cdot I_{a0}$								$E_g =$ $U_{mg} =$ $E_a =$ $R_n =$
$P_1 = U_n^2 / R_n$								
$P_a = P_0 - P_1$								
$\eta, \%$								

7. Снять резонансные характеристики $I_{a0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n = \varphi(C_k)$ при $Eg = E'g$, $e_{g \max} = 20V$ для двух значений связи с нагрузкой $X_{св} = 3$ и $X_{св} = 1$. Контролировать постоянно E_g, U_{mg}, E_a .

Данные измерений свести в таблицу.

Скдел	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Прим.
I_{a0}, mA												$Eg =$ $Eg =$ $e_{g \max} =$ $X_{ce} =$
I_{g01}, mA												
I_{g02}, mA												
$I_{кдел}$												
$I_{ндел}$												

В отчёте представить:

- а) краткое содержание и схему работы,
- б) таблицы и графики наблюдений,
- в) выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими способами можно изменять нагрузку анодной цепи генератора?
2. Объясните ход кривых $I_{a0}, I_{g0}, I_n = f(R_{oe})$.
3. Как изменяются P_0, P_1 и P_a при изменении R_{oe} ?
4. Каков характер графика $I_k = f(X_{ce})$?
5. Почему после изменения связи с нагрузкой приходится подстраивать анодный контур?
6. В каком порядке Вы бы стали настраивать генератор в режим максимальной мощности?
7. Объясните ход настроечных характеристик.
8. Почему опасно настраивать в резонанс анодный контур при полном анодном напряжении?
9. Как настроить анодный контур в резонанс, если приборов, измеряющих токи и напряжения высокой частоты, не имеются?
10. Каким образом по форме импульса анодного тока в перенапряженном режиме и расстроенном анодном контуре можно установить характер реактивного сопротивления контура?

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с.
2. Бордус А. Д. Устройства формирования сигналов. Часть II. – Томск: ТУСУР, 2001. – 101 с.
3. Под ред. Терентьева Б. П. «Радиопередающие устройства», М., 1972., стр. 63 – 64.

РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА
ОТ УГЛА ОТСЕЧКИ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Исследование зависимости режима генератора с внешним возбуждением от угла отсечки анодного тока при усилении и умножении частоты.

Зависимость режима генератора от угла отсечки анодного тока легко пояснить, используя выражение для гармонических составляющих анодного тока $I_{an} = \alpha_n \cdot I_{ma}$. Если $I_{ma} = const$, то очевидно, что зависимости $I_{a0}, I_{a1}, I_{a2} = f(\theta)$ будут повторять зависимости соответствующих коэффициентов Берга $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2 = f(\theta)$ – рис. 15.

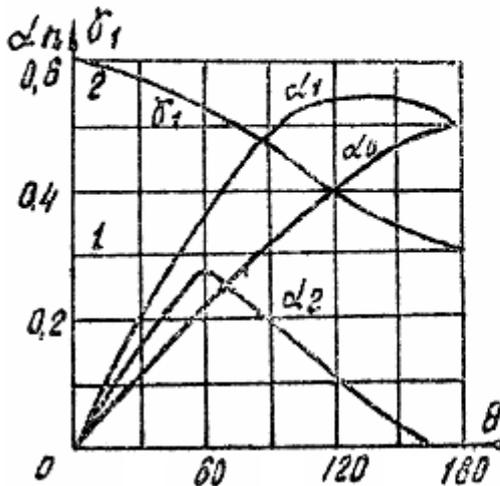


Рис. 15.

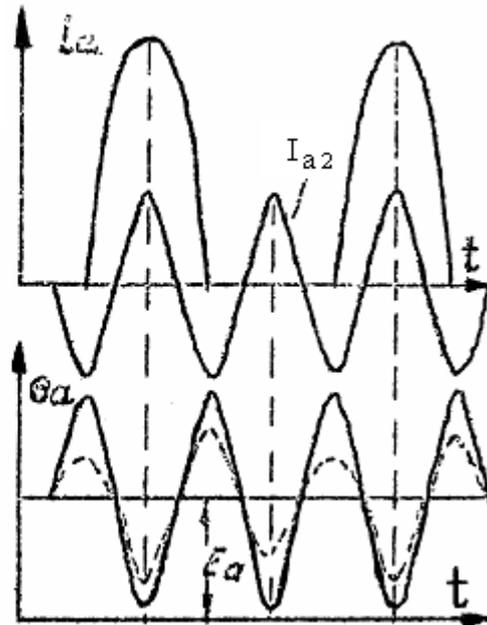


Рис. 16.

Условие $I_{ma} = const$ можно выполнить, если поддерживать постоянной величину $e g_{max}$ (см. рис. 8), изменяя для этого одновременно напряжение E_g и U_{mg} на одинаковую величину.

Необходимо помнить, что коэффициенты Берга справедливы для импульсов тока косинусоидальной формы. Поэтому при исследованиях необходимо поддерживать в генераторе недонапряжённый режим, для чего установить соответствующую связь с нагрузкой. Одновременно с уменьшением напряжённости режима уменьшается U_{ma} , таким образом, уменьшается реакция анода, что способствует постоянству I_{ma} .

В соответствии с рис.15 следует ожидать, что в режиме усиления и умножения с ростом угла отсечки будет монотонно возрастать I_{a0} . Высоко-частотные составляющие будут вести себя по-разному. В режиме усиления I_k, I_n, U_{ma}, U_n с ростом угла отсечки до 120° будут нарастать, а затем начнут убывать, т. к. все эти величины связаны с $I_{a1}(\alpha_1)$.

В режиме удвоения частоты контур настраивается на вторую гармонику анодного тока I_{a2} , см. эпюры на рис. 16, поэтому указанные токи и напряжения будут вести себя в соответствии с изменением коэффициента α_2 . Максимум этих величин должен наблюдаться при $\theta = 60^\circ$.

Полезная мощность генератора $P_1 = 0.5I_{a1} \cdot U_{ma1}$ – при усилении, и $P_2 = 0.5I_{a2} \cdot U_{ma2}$ – при удвоении, определяется при прочих равных условиях величиной I_{a1} и I_{a2} , которые достигают максимума соответственно при $\theta = 120^\circ$ и $\theta = 60^\circ$.

Из сравнения графиков для α_1 и α_2 следует, что при постоянном импульсе тока I_{ma} мощность при оптимальных углах отсечки в режиме усиления в $\frac{\alpha_{1\max}}{\alpha_{2\max}} = 2.2$ раза больше, чем при удвоении частоты.

Большинство современных генераторных ламп имеют высокоэффективные катоды, предел использования которых определяется не высотой импульса, а средним значением тока катода. С учётом этого импульс при удвоении обычно выбирают большим, чем в режиме усиления. Полезная мощность при этом уменьшается лишь на 20–30%, а не в два раза, как в случае постоянной величины импульса анодного тока. Увеличение высоты импульса легко получить увеличением величины $e g_{\max}$ по сравнению с её значением в режиме усиления.

Зависимость η генератора от угла отсечки определяется выражением

$$\eta = \frac{P_n}{P_0} = 0.5 \frac{I_{an} \cdot U_{ma}}{I_{a0} \cdot E_a} = 0.5 \gamma_n \cdot \xi,$$

где P_n – мощность полезной гармоники,

P_0 – мощность, потребляемая от источника питания,

$\gamma_n = \frac{\alpha_n}{\alpha_0}$ – коэффициент формы импульсов.

Если бы сделать $\xi = const$, то зависимость $\eta = f(\theta)$ повторяла бы зависимость $\gamma_n = f(\theta)$, фактически при $R_{oe} = const, I_{ma} = const, U_{ma} = R_{oe} \cdot I_{ma} \cdot \alpha_n$ меняет-

ся с изменением θ , и меняется ξ . Поэтому зависимость η от угла θ приобретает более сложный вид

$$\eta = 0.5 \frac{I_{an} \cdot I_{an} \cdot R_{oe}}{I_{a0} \cdot E_a} \equiv \frac{\alpha_n^2}{\alpha_0} \equiv \gamma_n \cdot \alpha_n$$

Анализ показывает, что при таких условиях максимальный η должен достигаться в режиме усиления при $\theta \approx 90^\circ$, а в режиме удвоения – при $\theta \approx 45^\circ$.

На работу умножителя частоты существенное влияние оказывает добротность анодного контура $Q = \frac{\omega L}{r}$. При настройке контура на n -ную гармонику импульсов анодного тока в течение одного периода входного сигнала на аноде лампы возникают n периодов затухающих колебаний:

$$U_a = U_{ma} e^{-\alpha t} \sin n \omega_0 t,$$

причём коэффициент затухания $\alpha \equiv 1/Q$ определяется добротностью колебательного контура. При сильной связи с нагрузкой в анодный контур вносится большое сопротивление потерь, добротность контура уменьшается, соответственно увеличивается α , и концу свободных колебаний (к приходу следующего импульса анодного тока) амплитуда колебаний на контуре значительно уменьшается по сравнению с начальной. Для поддержания колебаний на контуре с малым затуханием добротность анодного контура под нагрузкой должна быть достаточно велика. Эпюры напряжения на аноде удвоителя при малой добротности колебательного контура изображена пунктиром на нижнем графике рис. 16.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Повторить операции 1 – 5, предусмотренные порядком выполнения работы №2.
2. Подать на сетку выходного каскада смещение $Eg = E'g$ и установить напряжение возбуждения такой величины, чтобы $e_{g \max} = 20 B$.
3. Переключить анодный контур для работы в режиме усиления, установить связь с нагрузкой $x_{св} = 3 - 4$ и настроить контур в резонанс.
4. Снять зависимость режима генератора от угла отсечки анодного тока $I_{a0}, I_{g01}, I_{g02}, U_n = f(\theta)$ при

$E_a = const, X_{ce} = const e g_{max} = 20 B = const$. Напряжение на нагрузке U_k измерять вольтметром, U_n выходной цепи ($R_n = 500$ Ом).

Для изменения угла отсечки при $e g_{max} = const$ необходимо одновременно изменять U_{mg} и E_g . Изменения производить через $10 B$ в максимально допустимых пределах, поддерживать E_a постоянным.

Данные измерений свести в таблицу.

Опытные				Расчётные				Примеч.
E_g, B	U_{mg}, B	I_{a0}, mA	U_n, B	$\theta, рад$	P_n	P_0	η %	

5. Переключить генератор в режим удвоения, настроить контур в резонанс на вторую гармонику и убедиться в этом с помощью осциллографа. Снять зависимость режима генератора от угла отсечки аналогично пункту 4, но при $X_{ce} = 2$

$$e g_{max} = 25 B = const.$$

6. По данным предыдущего пункта установить смещение и возбуждение, соответствующие максимальной мощности в нагрузке. Подключить к клемме U_n - осциллограф. Меняя связь с нагрузкой через 2 деления, снять осциллограммы напряжения на нагрузке. После каждого измерения связи подстраивать анодный контур в резонанс по экстремумам анодного и сеточного токов.

Полученные осциллограммы привести в отчёте и объяснить результаты. В отчёте представить:

- Краткое содержание и схему работы.
- Таблицы и графики наблюдений.
- Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему мощность и к.п.д. лампового умножителя частоты ниже, чем усилителя?
2. Почему в ламповых умножителях не применяют умножение более чем в 3 раза?
3. Какие углы отсечки нужно выбирать для удвоителя? Для утроителя?
4. Почему умножение применяется в маломощных каскадах?
5. Какие требования предъявляются к анодному контуру умножителя?
6. Какие каскады на Ваш взгляд менее склонны к самовозбуждению – усилительные или умножительные?

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Терентьева Б. П. Радиопередающие устройства, 1972., стр. 39 – 43.
2. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с.

РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЁХТОЧЕЧНЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучение основных схем трёхточечных автогенераторов и исследование их режимов при автоматическом смещении в цепи сетки.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ. Для возникновения автоколебаний в генераторе с самовозбуждением необходимо, чтобы энергия, поступающая в контур, была не менее энергии, затрачиваемой в колебательной системе (баланс амплитуд), а переменные напряжения на сетке и аноде должны быть в противофазе. Последнее условие в одноконтурных автогенераторах легко выполняется путём перекрещивания катодного и сеточного проводников (рис. 17).

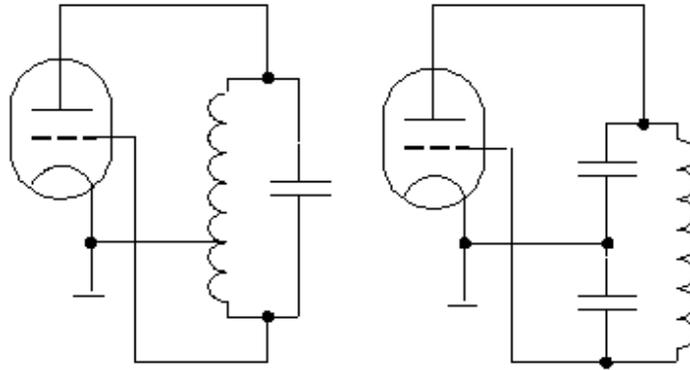


Рис. 17.

Условия баланса амплитуд и фаз обычно записываются в следующем виде:

$$S_0 \cdot (K - D) \cdot R_{oe} > 1 \text{ — баланс амплитуд,}$$

$$\varphi_a + \varphi_k + \varphi_s = 0 \text{ — баланс фаз.}$$

Здесь φ_a — фазовый угол анодной нагрузки,
 φ_k — фазовый угол коэффициента обратной связи,
 φ_s — фазовый угол крутизны лампы,
 R_{oe} — эквивалентное сопротивление анодного контура,
 S_0 — крутизна характеристики в рабочей точке,
 D — проницаемость лампы,
 K — коэффициент обратной связи.

Если условия самовозбуждения выполнены, то в автогенераторе самопроизвольно начинаются и развиваются колебания. Однако колебания не мо-

гут нарастать неограниченно. Дело в том, что по мере нарастания колебаний режим может стать перенапряженным, или может начаться работа с отсечкой анодного тока. В том и другом случае уменьшается средняя за период колебания крутизна $S_{cp} = \frac{I_{a1}}{U_{mg}}$, и при достижении условий $S_0 \cdot (K - D) \cdot R_{oe} = 1$ нарастание колебаний прекращается.

Теория автогенераторов решает три основных вопроса:

1. Как выполнить условия самовозбуждения.
2. Как определить амплитуду колебаний в стационарном режиме.
3. Как идёт процесс нарастания колебаний во времени.

Условие самовозбуждения может быть выполнено соответствующим выбором S_0, K, D и R_{oe} .

При этом K определяется элементами цепи обратной связи, R_{oe} — параметрами контура и его связью с нагрузкой связи, D — выбранной лампой и, наконец, S_0 определяется лампой и выбором рабочей точки. Из сказанного ясно, что наиболее просто и гибко можно воздействовать на величину S_0 , а также ясно, что при прочих условиях условие самовозбуждения можно выполнить, увеличивая S_0 , т.е. выбирая рабочую точку на участке с большой крутизной.

Стационарным и устоявшимся режимом автогенератора называется такое состояние, когда закончились переходные процессы, и амплитуда колебаний не меняется. Отсутствие колебаний является частным случаем стационарного режима. Анализ возможных стационарных режимов можно провести, используя приём совмещения на одном графике колебательной характеристики и линии обратной связи.

Колебательной характеристикой называется зависимость амплитуды первой гармоники анодного тока от напряжения возбуждения:

$$I_{a1} = f(U_{mg}).$$

Форма колебательной характеристики существенно зависит от положения рабочей точки. Если рабочая точка лежит на участке с большой крутизной S_0 , то колебательная характеристика имеет форму кривой с выпуклостью вверх — рис. 18.

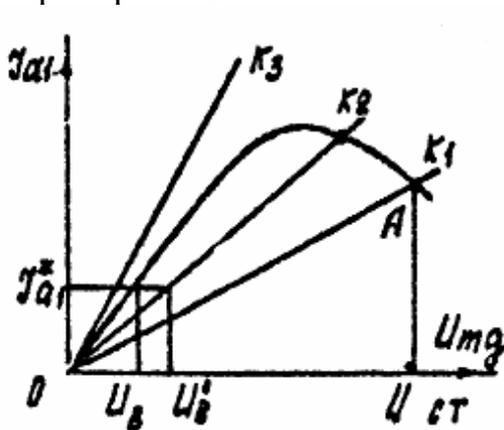


Рис. 18.

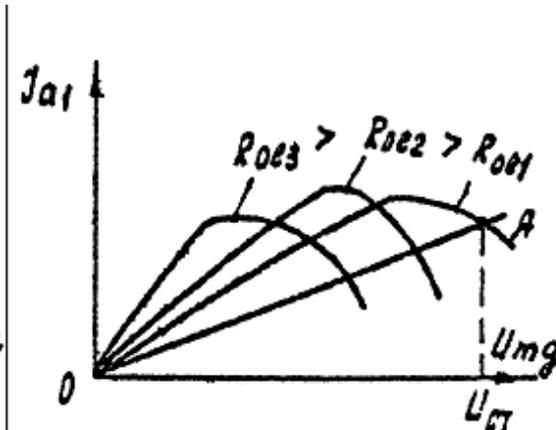


Рис. 19

С ростом возбуждения сначала происходит плавное увеличение тока I_{a1} , затем с увеличением напряженности режима его рост замедляется, а с заходом в перенапряженный режим ток I_{a1} начинает уменьшаться.

Линией обратной связи называется зависимость напряжения обратной связи U'_{mg} от амплитуды первой гармоники анодного тока J_{a1} . Так как по определению $U'_{mg} = KU_{ma} = K \cdot R_{oe} \cdot I_{a1}$, то при постоянных K и линия обратной связи имеет вид прямой, наклон которой определяется произведением $K \cdot R_{oe}$.

В стационарном режиме U_{mg} торжественно равно U'_{mg} , так как нет внешних воздействий на автогенератор, а переходные процессы уже закончены. Поэтому стационарный режим может быть лишь режим, соответствующий точкам пересечения колебательной характеристики и линии обратной связи, где и наблюдается равенство $U_{mg} = U'_{mg}$.

На рис. 18 произведено совмещение колебательной характеристики и линии обратной связи, откуда видно, что в данном случае возможны две точки пересечения – О и А. Точка О соответствует отсутствию колебаний, а точка А – стационарному режиму с амплитудой U_{cm} . Чтобы определить, в какой из этих точек будет находиться процесс, нужно исследовать эти точки на устойчивость. Применим для этого метод малых возмущений. Пусть процесс находится в точке О, и на сетку воздействует малое возмущение U'_v (за счет тепловых флуктуаций, случайных наводок, и т.д.). Это возмущение вызывает появление в анодной цепи соответствующего тока I_{a1} , а этот ток, в свою очередь, вызывает напряжение обратной связи U'_v . Так как $U'_v > U_v$, то будет происходить лавинообразное нарастание этого возмущения, т.е. начнется генерация. Таким образом, в данном случае точка О неустойчива. Точка А, наоборот, является устойчивой, так как при воздействии малых возмущений в любую сторону процесс вновь возвращается в нее же. Это согласуется с тем, что при больших S_o колебания начинаются самопроизвольно. Чтобы каждый раз не производить исследование точек на устойчивость, вводится формальный критерий неустойчивости, а именно: точка является неустойчивой, если колебательная характеристика в этой точке идет круче, чем линия обратной связи.

Основываясь на вышеизложенном, легко проследить влияние на режим автогенератора таких параметров схемы, как K и R_{oe} . При $R_{oe} = \text{const}$ наклон линии обратной связи будет определяться только коэффициентом K . Как следует из рис. 18, при его уменьшении от величины K_1 до K_3 стационарная амплитуда колебаний в автогенераторе плавно уменьшится до нуля. Если производить увеличение связи от K_3 до K_1 , то так же плавно стационарная амплитуда нарастает от 0 до некоторого значения. Такой режим возбуждения автогенератора называется мягким.

Если $K = const$, то при изменении сопротивления нагрузки R_{oe} будет меняться напряженность режима генератора, а колебательная характеристика будет деформироваться.

На рис.19 приведено семейство колебательных характеристик для $R_{oe3} > R_{oe2} > R_{oe1}$.

Характеристика для R_{oe1} , соответствует работе генератора в слабонапряжённом режиме, а для R_{oe3} в перенапряжённом.

Изменение коэффициента K можно осуществить изменением числа витков катушки (или емкость делителя):

$$K \frac{Umg}{Uma} = \frac{ng}{na} = \frac{Ca}{Cg}$$

где ng и Cg – число витков катушки и ёмкость, включенные между катодом и сеткой, na и Ca – то же, но включенные между анодом и сеткой.

Изменение величины анодной нагрузки можно получить путем изменения коэффициента включения P колебательного контура в анодную цепь лампы или подключением к контуру сопротивления нагрузки.

Отметим в заключение, что выбор рабочей точки на участке с высокой крутизной S_o ($|Eg| < |E'g|$) приводит к тому, что в стационарном режиме лампа работает либо без отсечки, либо с углом отсечки $\theta > 90^\circ$, что энергетически невыгодно. Для того, чтобы облегчить условия самовозбуждения и в то же время повысить к.п.д., в стационарном режиме в автогенераторах применяют автосмещение за счет сеточного тока: $E_g = -I_{g0} \cdot R_g$.

При этом, в момент включения колебания в автогенераторе отсутствуют, сеточный ток I_{g0} и вместе с ним E_g равны нулю, т.е. рабочая точка находится на участке с большой крутизной S_o . По мере развития колебательного процесса появляется и растет сеточный ток и, соответственно, $|E_g|$ растет. Обеспечивая работу с малым углом отсечки. Процессы, происходящие при этом, иллюстрируются рис. 20.

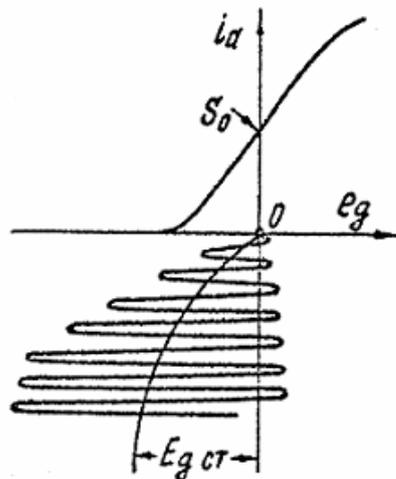


Рис.20

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Привести макет в рабочее состояние, для чего установить максимальную обратную связь в схеме индуктивной или емкостной трехточки и автоматическое смещение. Ручку регулировки автосмещения установить в среднее положение. Переключатели “Нагрузка АГ” и “Способ ЧМ” поставить в положение “Выкл”.
2. Подать напряжение на автогенератор и проверить устойчивость автоколебаний, для чего покрутить контурную емкость автогенератора. Если происходит срыв автоколебаний, уменьшить сопротивление автосмещения так, чтобы прибор, измеряющий I_{g01} автогенератора, показывал не более 3 – 5 мА.
3. Снять зависимость режима автогенератора от величины обратной связи $U_{mg}, U_{ma}, J_{a0}, J_{g01}, J_k = f(K)$. Величину связи менять в максимально возможных пределах. Исследовать обе схемы (с индуктивной и емкостной обратной связью).

Данные свести в таблицу

<i>№№</i> <i>n / n</i>	U_{mg}	U_{ma}	J_{a0}	J_{01}	J_{k1}	$K = \frac{U_{mg}}{U_{ma}}$	<i>Примеч.</i>

4. Включить нагрузку автогенератора. Величину сопротивления нагрузки выбрать самостоятельно, но так, чтобы токи существенно изменились. Снять зависимости $U_{mg}, U_{ma}, J_{a0}, J_{g01}, J_k = f(K)$ для одной из схем (по выбору). Данные свести в таблицу, аналогичную приведенной выше.
5. Снять нагрузочные характеристики одной из схем автогенератора $J_{a0}, J_k = f(R_n)$ для двух положений переключателя обратной связи. Данные свести в таблицу.

R_n Ом	∞	1800	680	200	51	10
J_{a0}						
J_k						

В отчете представить:

- а) Краткое содержание и схему работы.
- б) Таблицы и графики наблюдений.
- в) Выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Начертите схему автогенератора с индуктивной обратной связью и автосмещением за счет тока управляющей сетки при последовательном питании анода.
2. То же с параллельным питанием анода.
3. То же с емкостной обратной связью.
4. Нужен ли разделительный конденсатор в цепи управляющей сетки автогенератора, собранного по схеме с емкостной обратной связью и параллельным питанием анода?
5. Что произойдет, если в цепь катода лампы автогенератора включить сопротивление смещения и не шунтировать емкостью?
6. Что такое “мягкое” самовозбуждение? Нарисуйте линию обратной связи и колебательную характеристику для этого случая.
7. Напишите, чему равен коэффициент обратной связи в трехточечных автогенераторах через напряжение и через параметры схемы. Докажите их тождественность.
8. Начертите схему автогенератора по емкостной трехточке с заземленной сеткой. Сделайте то же для индуктивной трехточки.
9. Начертите схему индуктивной и емкостной трехточки с заземленным анодом.
10. Как изменяется ток в контуре автогенератора при изменении K, R_n ?

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Терентьева Б. П. Радиопередающие устройства, 1972., стр. 210 – 214.
2. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с,

РАБОТА №6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОГО РЕЖИМА ВОЗБУЖДЕНИЯ
АВТОГЕНЕРАТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Выяснение характера возникновения и срыва колебаний в автогенераторе при изменении внешнего смещения на управляющей сетке.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ. Как известно (см. работу №5), при использовании в автогенераторе автоматического смещения за счет тока управляющей сетки колебания возникают самопроизвольно, и амплитуду их можно плавно регулировать. Такой режим называется режимом мягкого самовозбуждения.

По-иному идут процессы в автогенераторе при подаче и изменении внешнего смещения. Проанализируем работу автогенератора при различной величине смещения E_g . Пусть смещение $|E_g| > |E'_g|$. В этом случае лампа закрыта и $S_0 = 0$, условие самовозбуждения $S_0 \cdot (K - D) > 1$ не выполняется, и колебания самопроизвольно возникнуть не могут. Однако они могут возникнуть при подаче извне некоторого достаточно большого возмущения. Покажем его с помощью известного приема совмещения колебательной характеристики с линией обратной связи.

При $|E_g| > |E'_g|$ колебательная характеристика имеет вид, показанный на рис.21.

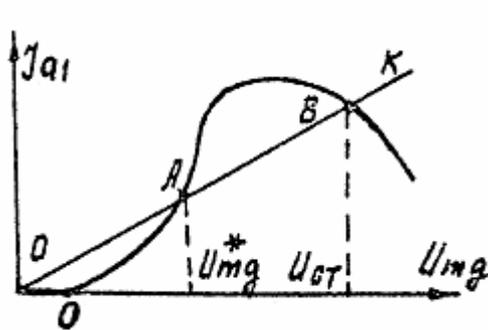


Рис. 21

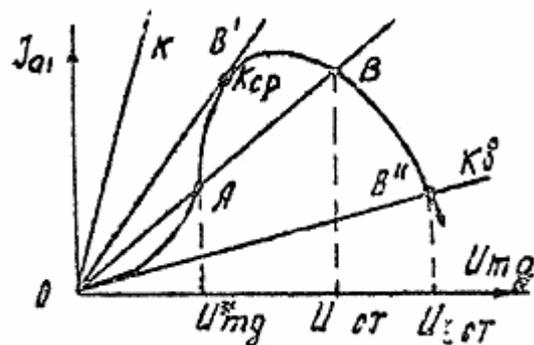


Рис. 22

Начало этой характеристики O' сдвинуто вправо, т.к. при малых амплитудах U_{mg} лампа остается закрытой. Изгиб начального участка определяется тем, что по мере роста U_{mg} напряжение на сетке заходит в область все большей крутизны, а спад конечного участка характеристики соответствует наступлению перенапряженного режима. Из рисунка видно, что линия обратной связи пересекает колебательную характеристику в трех точках – O , A и B . По известному критерию (см. работу №5) точки O и B устойчивы, точка A не устойчива. Устойчивость точки O соответствует невыполнению условия

самовозбуждения ($S_0 = 0$) Неустойчивость точки A проявляется в том, что при малом положительном или отрицательном возмущении процесс перейдет соответственно в точку B или 0 . Поэтому, если подать на сетку автогенератора внешнее возбуждение $U_{mg} > U_{mg}^*$, то процесс перейдет в точку B со стационарной амплитудой U_{CT} и останется в этой точке после снятия внешнего воздействия. Однако никакое увеличение K не приведет к самопроизвольному возникновению колебаний.

Если выбрано $|E_g| \approx |E'_g|$, и рабочая точка лежит на начальном участке анодно-сеточной характеристики, то колебательная характеристика начинается с нуля (рис.22), а форма ее та же, что на рис.21. Видно, что при достаточно большом $K = K_B$, когда линия обратной связи коснется колебательной характеристики в точке 0 снизу, точка 0 станет неустойчивой и процесс скачком перейдет в точку B'' .

Рассмотренные случаи характерны тем, что при возбуждении автогенератора (путем подачи внешнего воздействия или путем увеличения K) сразу устанавливается большая амплитуда U_{CT} . Такой режим возбуждения называется жестким. Интересно отметить, что при уменьшении K ниже K_B колебания срываются не сразу, а только по достижении $K = K_{cp}$, когда линия обратной связи перестает касаться колебательной характеристики сверху (в точке B'), причем процесс вначале плавно смещается из точки B'' в B' , а затем скачком — в точку 0 . Таким образом, зависимость стационарной амплитуды колебаний от K при $|E_g| \approx |E'_g| = const$ имеет вид кривой с гистерезисом (рис. 23).

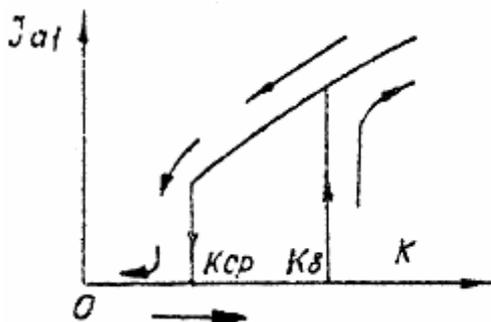


Рис. 23

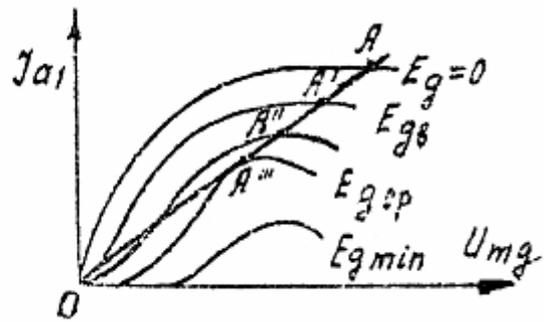


Рис. 24

Аналогичный вид имеет зависимость стационарной амплитуды от напряжения смещения E_g при постоянном K . Поясним это с помощью рис.24.

Пусть задан $K = const$, тогда линия обратной связи фиксирована, а изменение смещения от $E_g = 0$ до $E_g = E_{gmin}$ отобразится сдвигом и деформацией колебательной характеристики. При $E_g = 0$ точка 0 неустойчива, и колебания самопроизвольно возникают, процесс переходит в точку A .

2. Переключить смещение с внешнего на автоматическое и снять зависимости $J_{g01}, J_k, U_{ma}, E_a = f(R_g)$ при $K = K_{max}; K = K_{cp}$. Величину сопротивления автоматического смещения отсчитывать по шкале на макете, а смещение подсчитать по формуле $E_g = -J_{g01} \cdot R_g$.

Данные свести в таблицу.

K_{max}	R_g											
	J_{g01}											
	J_k											
	U_{ma}											
	E_g											
K_{cp}	R_g											
	J_{g01}											
	J_k											
	U_{ma}											
	E_g											

При появлении прерывистой генерации исследование прекратить, возобновив его при других начальных условиях.

В отчете представить: краткое содержание и схему работы, таблицы и графики наблюдений, анализ полученных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему автогенераторы строятся по схемам с автосмещением за счет тока управляющей сетки?
2. Почему возникновение и срыв автоколебаний при внешнем смещении происходят при разных напряжениях смещения?
3. Почему по мере уменьшения обратной связи возникновение и срыв автоколебаний происходит при все более близких значениях E_g ?
4. Постройте диаграмму срыва по известной колебательной характеристике при изменении коэффициента обратной связи.
5. Нарисуйте схему автогенератора с посторонним регулируемым смещением и с параллельным питанием анода.
6. То же с последовательным питанием анода.

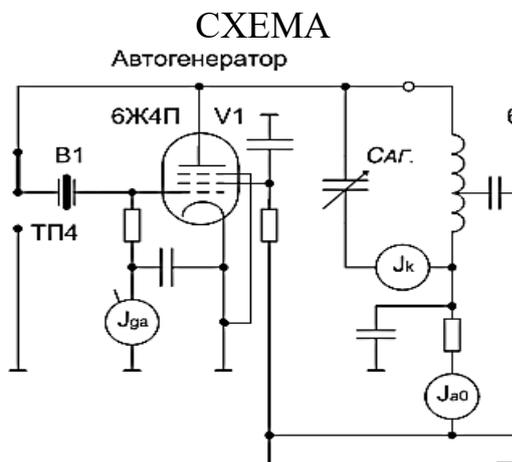
ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Терентьева Б. П. Радиопередающие устройства, 1972., стр. 210 – 214.
2. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с,

РАБОТА №7

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОГЕНЕРАТОРА С КВАРЦЕМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучение двух основных схем кварцевого генератора, а также исследование зависимости частоты колебаний и режима работы от настройки контура, включенного в анодную цепь.



КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ. Наибольшая устойчивость частоты генератора с самовозбуждением достигается при использовании в нем кварцевого резонатора или, короче, кварца. Объясняется это тем, что кварц является одной из самых совершенных электромеханических колебательных систем, обладающих высокими эталонными свойствами. Эквивалентная схема кварца приведена на рис. 25а. Она состоит из индуктивности L_k , емкости C_k и сопротивления r_k , а также емкости кварцедержателя C_0 .

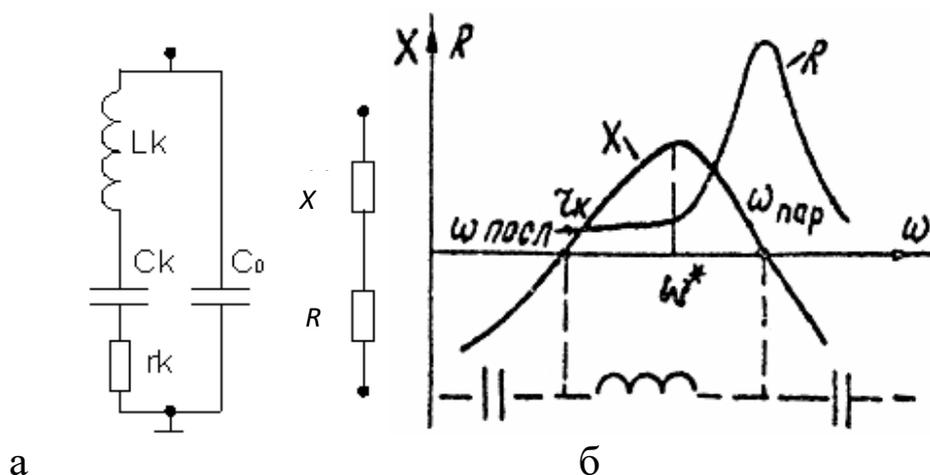


Рис. 25

Величины эквивалентных параметров кварца резко отличаются от параметров обычных контуров. Они бывают равны:

$$L_k = 0.15 \div 3 \text{ Гн}; C_k = 0.01 \div 0.05 \text{ нФ}; r_k = 2 \div 3 \text{ Ом}; C_0 = 5 \div 50 \text{ нФ}$$

Такие величины параметров приводят к очень высокой добротности эквивалентного контура $Q = (30 \div 40)10^4$. Вследствие этого кварц имеет очень узкую резонансную характеристику и высокую стабилизирующую способность.

Как видно из эквивалентной схемы, кварц обладает двумя резонансными частотами: частотой последовательного резонанса:

$$\omega_{\text{посл}} = \frac{1}{\sqrt{L_k \cdot C_k}},$$

которая равна собственной частоте механических колебаний, и частотой параллельного резонанса.

Вследствие того, что отношение $C_k/C_0 \ll 1$, относительная разность частот $\omega_{\text{посл}}$ и $\omega_{\text{пар}}$ оказывается весьма малой

$$\frac{\omega_{\text{посл}} - \omega_{\text{пар}}}{\omega_{\text{посл}}} = 10^{-2} \div 10^{-3}.$$

Зависимость активного R и реактивного X сопротивлений кварца от частоты показана на рис. 25б. На частотах ниже $\omega_{\text{посл}}$ и выше $\omega_{\text{пар}}$ реактивное сопротивление имеет емкостной характер, а в интервале между ними – индуктивный.

Это свойство кварца используют, включая его вместо одной из индуктивностей трехточечного автогенератора. В этом случае автогенератор может возбудиться лишь на частоте, лежащей в промежутке между $\omega_{\text{посл}}$ и $\omega_{\text{пар}}$, а без кварца или при неисправном кварце возбуждения не будет. Нужно еще учесть, что генерация возможна лишь на восходящей ветви $X(\omega)$, т.е. на частотах от $\omega_{\text{посл}}$ до ω^* так как на падающей ветви $X(\omega)$ не выполняется условие устойчивости по частоте. Это еще более ограничивает диапазон генерации, что и обеспечивает необходимую стабильность частоты. Остается добавить еще, что параметры кварца мало подвержены влиянию атмосферных условий и старению.

Наибольшее распространение получили две схемы с включением кварца: 1) между сеткой и катодом и 2) между сеткой и анодом – рис. 26.

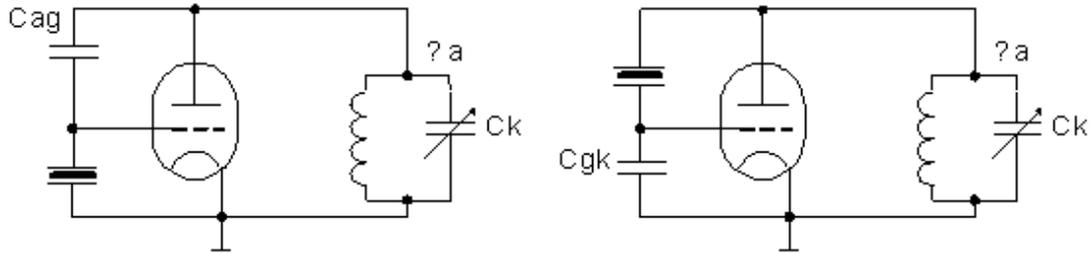


Рис. 26

Возбуждение этих схем возможно только при индуктивном сопротивлении кварца. При этом схема с кварцем между сеткой и катодом сводится к индуктивной трехточечной схеме, а схема с кварцем между сеткой и анодом – к емкостной. В обоих случаях частота генерируемых колебаний должна лежать в пределах $\omega_{\text{посл}} > \omega > \omega_{\text{нар}}$, в противном случае сопротивление кварца будет иметь емкостной характер, и колебания возникать не будут. Частота кварца

$$f_{\text{кв}} \approx \omega_{\text{посл}}/2\pi.$$

Как уже было сказано, первая из схем сводится к индуктивной трехточке, а вторая – к емкостной. Для этого нужно, чтобы на частоте кварца $f_{\text{кв}}$ контур имел индуктивное сопротивление в первом случае и ёмкостное – во втором. Таким образом, если изменять ёмкость контура C_k , первая схема будет работать при $C_k < C_{k \text{ рез}}$, а вторая – при $C_k > C_{k \text{ рез}}$, где $C_{k \text{ рез}}$ – ёмкость, соответствующая настройке контура на частоту кварца. Если эти условия выполнены, то при изменении ёмкости контура C_k будет меняться режим работы генератора. Чем ближе C_k к $C_{k \text{ рез}}$, тем больше эквивалентное активное сопротивление контура, выше напряженность режима генератора, возрастают I_k и I_{g0} , уменьшается I_{a0} . В момент резонанса эквивалентное сопротивление контура становится чисто активным, не выполняется баланс фаз, и колебания срываются.

Графики зависимостей токов от величины контурной ёмкости C_k приведены на рис. 27.

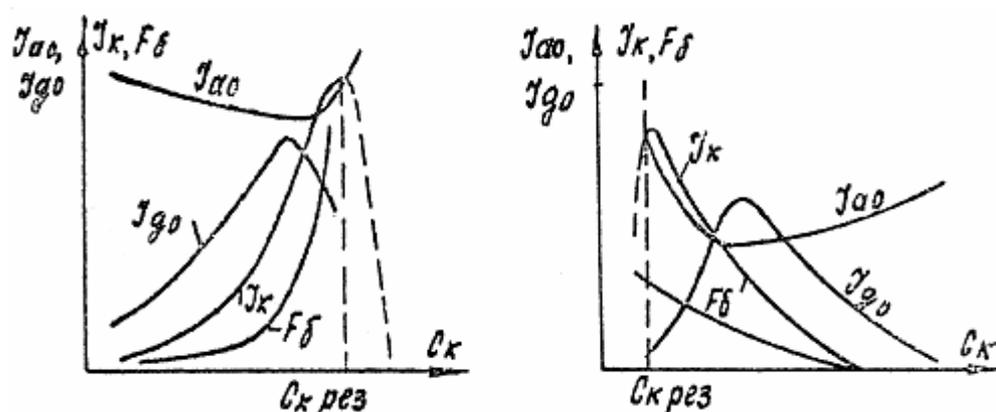


Рис. 27

Кварцевый генератор представляет собой двухконтурный автогенератор, в котором связь внешнего контура с внутренним (кварцевым) осуществляется либо через емкость C_{ag} (кварц между сеткой и катодом), либо через емкость C_{gk} (кварц между сеткой и анодом). Наличием этой связи объясняется некоторое влияние параметров внешнего контура на частоту генерируемых колебаний. Уход частоты кварцевого автогенератора весьма мал ($\Delta f/f = 10^{-4} \div 10^{-6}$). Структурная схема приведена на рис. 28.



Рис. 28

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить исследуемую схему.
2. Ознакомиться с инструкцией пользования измерителем частоты ЧЗ-33.
3. Включить установку и подать напряжение на кварцевый генератор.
4. Включить кварц между сеткой и катодом и установить $C_k = C_{k \text{ мин}}$.
5. Снять зависимости $I_{a0}, I_{g0}, I_k \cdot F_b = \phi(\alpha)$, где α – угол поворота ротора конденсатора. Перестройку анодного контура производить, изменяя емкость C_k от меньшей величины к большей (по шкале указателя положения ротора конденсатора – от цифры 0 в сторону увеличения).

Данные измерений свести в таблицу.

α , Дел	I_{a0} , мА	I_{g01} , мА	I_k , Дел	F_6 , Гц	

6. Включить кварц между анодом и сеткой. Установить максимальную емкость контура и замерить точную частоту кварцевого генератора.

7. Снять зависимости $I_{a0}, I_{g01}, I_k, F_6 = \phi(\alpha)$.

Перестройку производить, уменьшая емкость анодного контура.

Данные измерений свести в таблицу, аналогичную предыдущей.

В отчете представить:

- краткое содержание и схему работы,
- таблицы и графики наблюдений,
- выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Нарисуйте схемы автогенераторов с включением кварца между сеткой и катодом, сеткой и анодом. Сведите вышеназванные схемы к эквивалентным трехточечным схемам.
- Как объяснить необходимость расстройки анодного контура в автогенераторе с кварцем?
- Чем определяются частоты $\omega_{\text{носл}}$ и $\omega_{\text{нар}}$ и их относительная расстройка?
- Назовите порядок величины параметров эквивалентного контура кварца.
- Расскажите о физических свойствах кварца.
- Начертите и объясните ход графиков J_{a1}, J_{g01}, J_{ma} при изменении емкости C_{AG} для обеих схем кварцевого автогенератора.
- Исходя из эксперимента, скажите, при какой емкости контура (вблизи резонанса или подальше) нужно работать, чтобы обеспечить большее выходное напряжение? А с точки зрения обеспечения устойчивой генерации и высокой стабильности частоты?

ЛИТЕРАТУРА

- Под ред. Терентьева Б. П. Радиопередающие устройства, 1972., стр. 251 – 253, 259 – 265.
- Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с.

РАБОТА №8

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ
АВТОГЕНЕРАТОРА

Рабочая частота исследуемого генератора находится около 1МГц .

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Выяснение влияния на частоту генерируемых автоколебаний тока сетки (смещения), нагрузки автогенератора (добротности контура), реакции последующих ступеней и разогрева деталей контура автогенератора (выбег частоты).

КРАТКИЕ СЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ. При работе автогенератора по его цепям циркулируют переменные токи. Фазы этих токов могут отклоняться от фаз напряжений на угол, отличный от 0 или 90° (например, ток в катушке индуктивности вследствие наличия в ней сопротивления потерь). Коэффициент обратной связи в автогенераторе при наличии сеточного тока получается комплексным:

$$K = \frac{U_{mg}}{U_{ma}} = n - \frac{J_{g1}}{J_{a1} - J_{g1}} \cdot \frac{Z_{ge}}{Z_a}$$

Фазовый угол коэффициента обратной связи будет зависеть от величины J_{g1} . В этой формуле $n = U_{mg} / U_{ma}$ без учета токов управляющей сетки; $Z_{ge} = Z_g - Z_{cs}^2 / Z_a$ — полное сопротивление в цепи сетки с учетом внесенного из анодной цепи Z_{cs}^2 / Z_a ; J_{a1}, J_{g1} — ток анода и ток сетки.

Поскольку уравнение баланса фаз $\varphi_a + \varphi_{K-D} + \varphi_s = 0$ при работе автогенератора всегда выполняется, то изменение φ_{K-D} из-за изменения тока сетки J_{g1} приведет к соответствующему изменению фазы φ_a на φ_n , а последнее — к изменению частоты генерации (см. рис. 29).

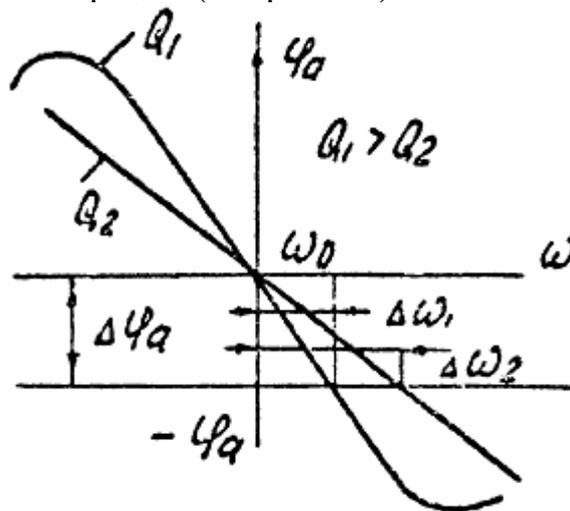


Рис. 29

Чем хуже добротность контура, тем меньше крутизна его фазовой характеристики $\varphi_a = F(\varphi)$, тем больше будет изменяться генерируемая частота (согласно рис. 29). Таким образом, уменьшение добротности контура приводит к ухудшению стабильности частоты автоколебаний. В связи с этим нельзя нагружать автогенератор низким входным сопротивлением следующей ступени. Если входное сопротивление следующей за автогенератором ступени будет изменяться, то также приведет к соответствующему изменению генерируемой частоты (реакция последующей ступени из-за наличия тока управляющей сетки и проходной емкости). Кроме этого, стабильность частоты ухудшается из-за разогрева деталей контура, так как с изменением температуры будут изменяться их геометрические размеры, а, следовательно, и величина L_k и C_k , что и вызывает медленный уход (выбег) частоты.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Не включая макета, перекинуть ручку тумблера “смещение” в положение “автоматическое”, ручку регулировки Величины сопротивления автосмещения установить в среднее положение, переключатель обратной связи $ПП$ в положение максимальной связи.
2. С разрешения руководителя включить электропитание исследуемого генератора (оконечную ступень и частотные модуляторы не включать) и произвести первый замер частоты (частоты биений между частотой исследуемого автогенератора и гетеродина), которая должна быть около $F_{\delta} = 10 \div 5 \text{ кГц}$. При этом частота исследуемого генератора $f_0 = f_{гетер} \pm F_{\delta}$. Знак F_{δ} нетрудно определить по шкале гетеродинного волномера, а величина определяется измерителем ЧЗ-33, подключенным параллельно наушникам. Отсчеты в начале эксперимента нужно делать чаще, позднее, по мере установления частоты, реже. Данные свести в таблицу наблюдений.

<i>минут</i>	1	2	3	5	8	11	15	20	25	30
F_{δ}										
$f_0 \pm F_{\delta}$										

3. Снять зависимость частоты от величины тока сетки автогенератора при двух значениях нагрузки контура автогенератора; а) при выключенном усилителе; б) при включенной ступени усилителя. Режим усилителя (усиление, удвоение, утроение) указывается руководителем. Порядок измерения частоты аналогичен пункту 2. Данные свести в таблицу наблюдений.
4. Проследить влияние настройки анодного контура ступени генератора с внешним возбуждением при двух значениях $P_{св}$ (максимальной и средней) на $f_{гетер}$ при усилении и умножении частоты. Методика измерения F_{δ} такая же, как и в пункте 2 настоящей работы.

Данные свести в таблицу наблюдений.

$R_g, \text{кОм}$	5	10	15	20	25	30	35	40	60
J_{g01}									
F_{δ}									
f									

По материалам работы представить отчет.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Начертите схему трехточечного автогенератора с автосмещением за счет тока первой сетки.
2. То же с постоянным смещением.
3. Какой вид смещения лучше и почему?
4. Напишите выражения для температурных коэффициентов емкости, индуктивности, частоты.
5. Почему при больших P_{ce} влияние настройки контура в анодной цепи усилителя на частоту сильнее?
6. Перечислите методы снижения реакции последующих ступеней на частоту автогенератора.
7. Начертите функциональную схему измерения ухода частоты автогенератора.
8. Как определит знак F_{δ} по шкале гетеродинного волномера?
9. Судя по Вашим данным $F_{\delta} = \psi(C_{KR})$ как изменится частота автогенератора, если отключить питание экранной сетки у второй от генератора ступени усилителя; третьей?
10. Почему нельзя к цепи управляющей сетки автогенератора подключать посторонние цепи?
11. Почему при низкой добротности контура автогенератора ухудшается стабильность частоты автоколебаний?

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с.
2. Бордус А. Д. Устройства формирования сигналов. Часть II. – Томск: ТУСУР, 2001. – 101 с.

РАБОТА №9

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНТОДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучение режима работы генератора при изменении напряжения на третьей (защитной) сетке.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ. Как известно из теории электронных приборов, напряжение на 3-й сетке существенно влияет на характеристики лампы. При подаче на третью сетку *отрицательного* напряжения E_{g3} линия критического режима сдвигается вправо, и крутизна ее уменьшается, как показано на рис. 30а.

Такой сдвиг обусловлен тем, что при малых напряжениях на аноде электроны не могут преодолеть тормозящее поле третьей сетки. Исходя из сказанного, видно, что есть возможность управлять анодным током за счет напряжения на третьей сетке.

Если при $E_{g3} = 0$ подобрать $e_{g_{max}}$ и R_{oe} такими, чтобы режим был критическим, и в дальнейшем поддерживать их постоянными, то при подаче на третью сетку отрицательного напряжения режим станет перенапряженным, и с ростом $|E_{g3}|$ импульсы анодного тока будут все меньшей амплитуды, а глубина провала будет увеличиваться рис. 30б.

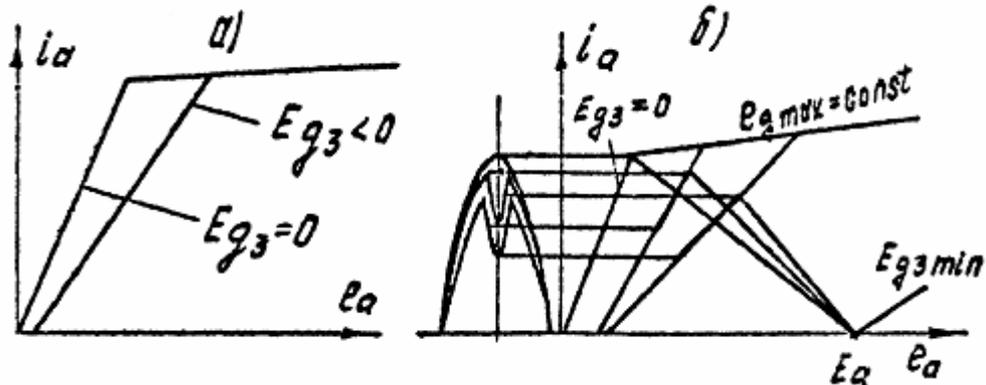


Рис. 30

Соответственно, J_{a1}, J_{a0} , будут резко уменьшаться, а сеточные токи J_{g01}, J_{g02} — возрастать. При некотором напряжении $E_{g3_{min}} = \frac{-E_a}{\mu \cdot g_3}$ лампа полностью закроется по аноду. *Статические модуляционные характеристики* при пентодной модуляции располагаются в области отрицательных значений E_{g3} , а напряжение смещения в режиме молчания $E_{g3н}$ выбирается на линейной части этой характеристики (рис. 31).

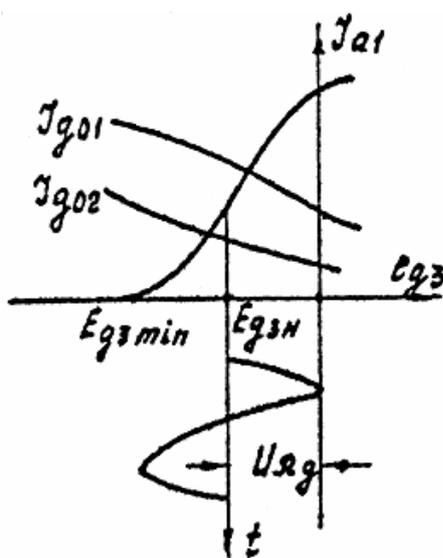


Рис. 31

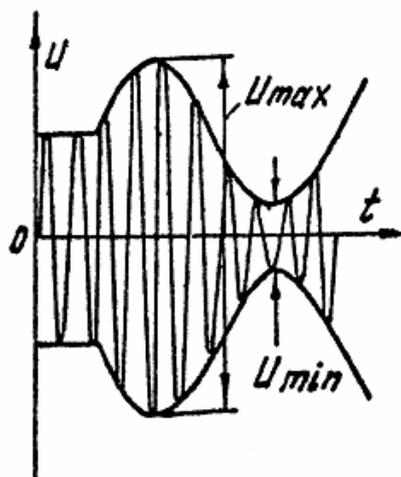


Рис. 32

Из-за увеличения сеточных токов при больших значениях отрицательного напряжения возникает тепловой перегрев первой и второй сеток. Часто это обстоятельство не позволяет получить 100% модуляцию. Для устранения перегрева сеток в их цепях устанавливаются сопротивления автоматического смещения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ. Статическая модуляционная характеристика СМХ – это зависимость амплитуды выходного ВЧ-сигнала от напряжения смещения на соответствующем электроде лапы модулируемого каскада.

Кроме статической модуляционной характеристики снимают еще динамические модуляционные характеристики, которые учитывают влияние различных, главным образом, реактивных сопротивлений на режим модуляции. К динамическим модуляционным характеристикам относятся амплитудная и амплитудно-частотная характеристики передатчика.

Амплитудной динамической модуляционной характеристикой называется зависимость коэффициента модуляции m от амплитуды звуковой частоты U_{Ω} при постоянной частоте модуляции, т.е. $m = f(U_{\Omega})$ при $\Omega = const$. Такой частотой обычно выбирают частоту 400 Гц или 1 кГц.

Амплитудно-частотная динамическая характеристика представляет собой зависимость коэффициента модуляции m от частоты модуляции Ω при постоянном напряжении U_{Ω} , т.е. $m = f(\Omega)$ при $U_{\Omega} = const$. Коэффициент модуляции m обычно вычисляют по формуле

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}},$$

где U_{\max} , U_{\min} – максимальное и минимальное значение амплитудно-модулированного сигнала (рис. 32).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Включить установку и подать напряжение питания на задающий генератор и промежуточную ступень. Добиться устойчивой работы автогенератора с амплитудой тока в контуре, равной 70–80% от максимального значения, после чего подать питание на выходной каскад и установить $E_a = 240 \div 250 В$.
2. Установить на управляющей сетке лампы выходного каскада максимально возможное смещение (-120 В), исключив этим влияние нагрузки на промежуточную ступень.
3. Изменяя напряжение на защитной сетке лампы промежуточного каскада, снять зависимость $U_{mg} = f(E_{g3})$.

ПРИМЕЧАНИЕ. U_{mg} – это амплитуда напряжения на управляющей сетке выходного каскада, для измерения имеется стрелочный прибор на передней панели макета.

4. Уменьшить напряжение смещения на сетке выходной лампы до $-40 В$ и вновь снять зависимость $U_{mg} = f(E_{g3})$.

Результаты измерений занести в таблицу.

П. 3	$-E_{g3} В$	0	6	9	12	...			
	$U_{mg} В$								
П. 4	$-E_{g3} В$	0	6	9	12	...			
	$U_{mg} В$								

5. Построить статические модуляционные характеристики, определить и выставить смещение, соответствующее режиму молчания $E_{g3н}$, подключить к клеммам U_{Ω} генератор звукового напряжения и снять амплитудные и амплитудно-частотные характеристики при $F = 400 Гц$ и $m = f(\Omega)$ при $U_{\Omega} = const$, где m – коэффициент модуляции.

В отчете представить:

- а) схему и краткое содержание работы,
- б) таблицы и графики результатов эксперимента,
- в) выводы по полученным результатам.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

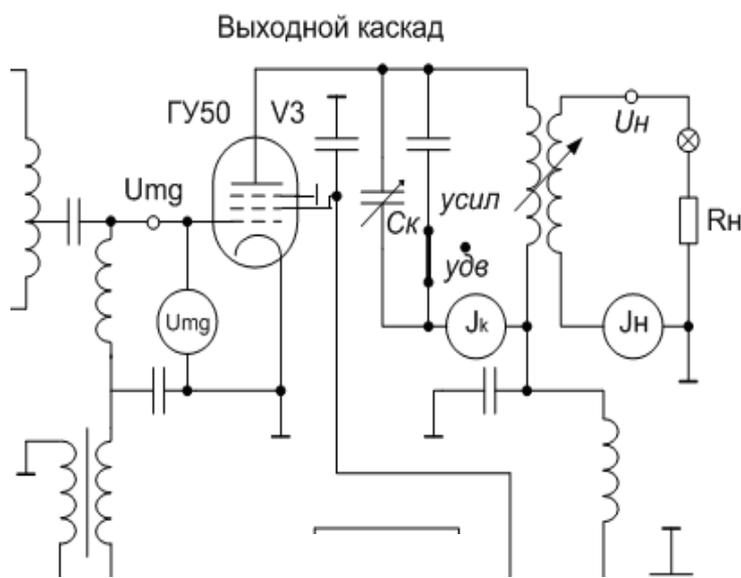
1. Поясните зависимость $J_{a1}, J_{a0}, J_{g01}, J_{g02} = f(E_{g3})$ с помощью анодных характеристик лампы.
2. Чему равен потенциал защитной сетки лампы по в.ч.? Как выбирать блокировочную емкость в цепи этой сетки при модуляции частотой Ω ?
3. Какова мощность модулятора при пентодной модуляции?
4. Почему не всегда возможна 100% модуляция по защитной сетке?

РАБОТА №10

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕТОЧНОЙ МОДУЛЯЦИИ СМЕЩЕНИЕМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с одним из методов амплитудной модуляции при помощи изменения сеточного смещения.

СХЕМА



КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Сеточная модуляция осуществляется путем изменения смещения E_g на управляющей сетке лампы. Амплитуда возбуждения U_{mg} при этом поддерживается постоянной. Важной характеристикой процессов, происходящих при сеточной модуляции, является **статическая модуляционная характеристика (СМХ)**, представляющая собой зависимость амплитуды выходного напряжения от напряжения смещения на управляющей сетке:

$$U_H = f(E_g).$$

Выражением “статическая” подчеркивается то обстоятельство, что процесс модуляции при этом отсутствует, следовательно, отсутствуют боковые частоты, и не учитывается влияние частоты модулирующего сигнала на характер происходящих процессов. Поскольку выходное напряжение пропорционально амплитуде первой гармоники анодного тока, под СМХ часто понимают зависимость $I_{a1} = f(E_g)$, которая приведена на рис. 33.

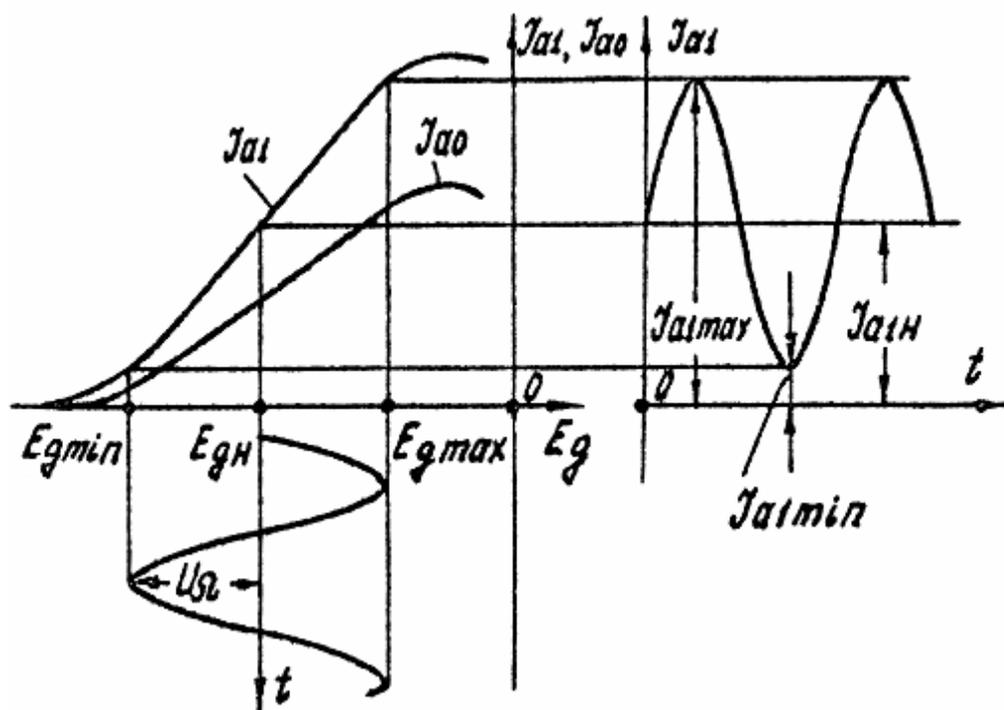


Рис. 33

Зависимость режима генератора от напряжения смещения рассматривалась ранее в работе 2. Линейная ее часть лежит в экономически невыгодном недонапряженном режиме, и только в верхней ее части режим становится критическим, после чего на характеристике появляется перегиб, связанный с переходом в перенапряженный режим. Точка E_{gn} , находящаяся на середине линейного участка статической модуляционной характеристики, называется телефонной точкой, а соответствующей ей режим – режимом несущей волны. Для последнего справедливы следующие выражения

$$P_0 = J_{a0n} \cdot E_a; P_{1n} = 0.5 \cdot J_{a1n} \cdot U_{ман}; \xi_n = \frac{U_{ман}}{E_a}; \eta = \frac{P_{1n}}{P_{0n}},$$

где $P_{0n}, P_{1n}, I_{a0n}, I_{a1n}, U_{ман}$ – мощности, токи и напряжение в анодной цепи, отнесенные к несущему режиму, $\eta = \eta_n$ – коэффициент полезного действия в режиме молчания.

При переходе к режиму максимальной мощности соответственно получим

$$P_{0_{max}} = P_{0n} \cdot (1 + m); P_{1_{max}} = P_{1n} \cdot (1 + m)^2; \xi_{max} = \xi_n \cdot (1 + m); \eta_{max} = \eta_n \cdot (1 + m),$$

где m – коэффициент модуляции. Смещение в максимальном режиме равно $E_{g_{max}}$.

Если $m = 1$, то к.п.д. в максимальном режиме в 2 раза больше, чем в режиме несущей. Зависимость к.п.д. от коэффициента модуляции является существенным недостатком сеточной модуляции.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить схему выходного каскада на лампе ГУ-50. Обозначить на схеме входы сигналов ВЧ и НЧ и от источников питания.
2. Включить установку и подать напряжение питания на задающий генератор и промежуточный каскад. Пользуясь данными, полученными при исследовании автогенератора с кварцем, установить режим устойчивого самовозбуждения с достаточной амплитудой.
3. Включить анодное напряжение выходного каскада и поворотом ручки регулятора на блоке питания установить $E_a = 240 \div 250 В$.
4. Установить напряжение смещения $E_g = E'_g$ и $e_{g_{max}} = 20 В$. Установить связь с нагрузкой $X_{св} = X_{св_{кр}}$ и настроить анодной контур в резонанс.
5. Поддерживая U_{mg} постоянным, снять зависимости $I_{a0} \cdot U_H = f(E_g)$. Смещение изменять в максимально возможных пределах через 10 В. После каждого изменения E_g производить проверку начальных значений U_{mg} и E_a . Полученные данные свести в таблицу 1.

Таблица 1.

Опытные			Расчётные				Примеч.
E_g В	I_{a0} mA	U_H В	P_0 Вт	P_1 Вт	P_a Вт	η %	

7. Повторить измерения, выполненные в п. 6 для $X_{св} < X_{св_{кр}}$. По полученным данным построить статические модуляционные характеристики

$$U_H = f(E_g).$$

8. Из снятых статических модуляционных характеристик выбрать одну с наибольшим напряжением линейного участка и определить на ней положение телефонной точки E_{gn} .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ. Амплитудной динамической модуляционной характеристикой называется зависимость коэффициента модуляции от амплитуды модулирующего сигнала:

$$m = f(U_{\Omega}) \text{ при } \Omega = const.$$

9. Установить режим работы, соответствующий выбранной модуляционной характеристике, т.е. установить величины U_{mg} , X_{cv} и E_{gn} . Подать на управляющую сетку выходного каскада модулирующее напряжение, подключить к нагрузке осциллограф и снять зависимость $m = \varphi(U_{\Omega})$ при $F = 400 \text{ Гц}$, $U_{mg} = const$, где m – коэффициент модуляции, U_{Ω} – амплитуда модулирующего напряжения на зажимах первичной обмотки сеточного трансформатора.

10. Полученные данные свести в таблицу 2 и построить график $m = \varphi(U_{\Omega})$.

Таблица 2.

$U_{\Omega} B$						Прим.
U_{max}						$U_{mg} =$ $E_{gn} =$ $X_{cv} =$ $F = 400 \text{ Гц}$
дел						
U_{min}						
дел						
$m \%$						

Коэффициент модуляции m вычисляют по формуле

$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$$

где U_{max} , U_{min} – максимальное и минимальное значение амплитудно-модулированного сигнала (рис.34).

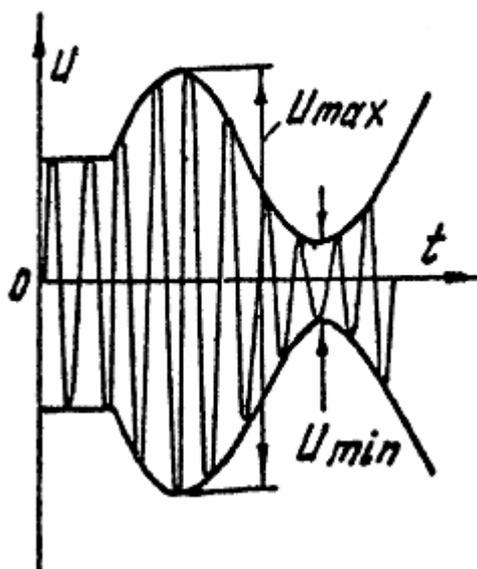


Рис. 34.

Провести анализ результатов и, в частности, сравнить величину модулирующего напряжения, соответствующую 100% модуляции при эксперименте, с ее значением для 100% модуляции по статической модуляционной характеристике. Учесть при этом значение коэффициента трансформации трансформатора в цепи сетки. Его значение сообщается руководителем.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ. *Частотная динамическая характеристика передатчика – зависимость коэффициента модуляции от частоты модуляции на входе модулятора при постоянной амплитуде U_{ax} , т.е.*

$$m = \varphi(\Omega) \text{ при } U_{ax} = const.$$

11. По данным предыдущего пункта установить $m = 0,6 \div 0,8$ при $F = 400 \text{ Гц}$ и снять зависимость $m = \varphi(F)$ при $U_{\Omega} = const; U_{mg} = const$. Частоту изменять по указанию преподавателя.

Полученные в эксперименте данные свести в таблицу и построить графики. Привести анализ полученных результатов.

$F \text{ Гц}$							<i>Примеч.</i>
U_{\max}							$U_{mg} =$ $E_{gn} =$ $X_{ce} =$ $U_{\Omega} =$
<i>дел</i>							
U_{\min}							
<i>дел</i>							
$m \%$							

В отчете представить:

- а) Краткое содержание и схему работы.
- б) Таблицы и графики наблюдений.
- в) Выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком режиме по напряженности и при колебаниях какого рода возможна сеточная модуляция смещением?
2. Как изменится статическая модуляционная характеристика, если напряженность режима увеличится?
3. Как изменяется мощность и к.п.д. генератора при переходе от режима молчания к максимальному режиму?
4. Возможно ли применение в генераторе, модулированном на управляющую сетку, автоматического смещения за счет сеточного тока?
5. Как влияют на частотную характеристику различные блокировочные и разделительные элементы генератора?
6. Почему при модуляции смещением предъявляются повышенные требования к уровню фона источников питания?
7. Как и когда влияет полоса пропускания анодного контура на частотную характеристику.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Терентьева Б. П. «Радиопередающие устройства», М., 1972., стр. 139 – 158.
2. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с.
3. Бордус А. Д. Устройства формирования сигналов. Часть II. – Томск: ТУСУР, 2001. – 101 с.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Статическая модуляционная характеристика при анодной модуляции представляет собой зависимость режима генератора от величины напряжения на аноде. График $J_{a1} = f(E_a)$ приведен на рис.34.

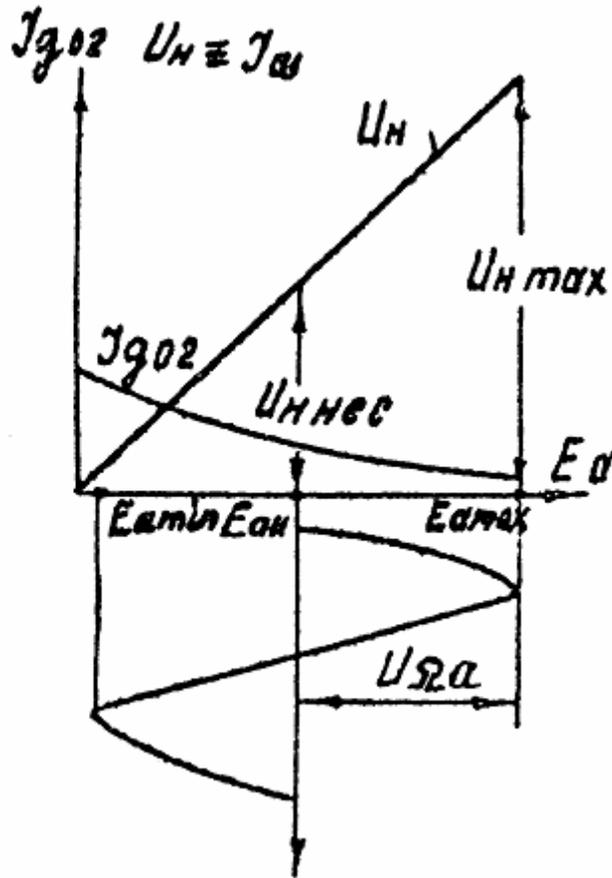


Рис.34

Если напряжение смещения и возбуждения постоянны, то с увеличением анодного напряжения напряженность режима генератора уменьшается, и верхняя часть статической модуляционной характеристики оказывается в энергетически невыгодном недонапряженном режиме. Применение автоматического смещение стабилизирует работу модулируемого каскада, т.к. с ростом сеточного тока увеличивается смещение, в результате чего изменение напряженности режима существенно уменьшается, и приближенно можно считать, что на протяжении линейного участка статической модуляционной характеристики напряженность режима не меняется. Таким образом, установив в какой-либо точке статической модуляционной характеристики (например, при $E_a = E_{ан}$) критический или слегка перенапряженный режим, можно

предположить, что в процессе модуляции при любом E_a этот режим останется неизменным, а работа генератора будет характеризоваться высокими энергетическими показателями, свойственными критическому (или слегка перенапряженному режиму).

Кроме этого, при автоматическом смещении статическая модуляционная характеристика более линейна. Поэтому преимущественное применение при анодной модуляции находит автоматическое смещение.

Точка, лежащая на середине линейного участка статической модуляционной характеристики, называется *телефонной точкой*, а соответствующий ей режим – *режимом несущей волны*. Для режима несущей волны справедливы следующие соотношения:

$$P_{0н} = J_{0н} \cdot E_{ан}; P_{1н} = 0.5 \cdot J_{a1н} \cdot U_{ман}; \xi = \frac{U_{ман}}{E_{ан}}; \eta = \frac{P_{1н}}{E_{ан}},$$

где $P_{0н}, P_{1н}, J_{a0н}, J_{a1н}, E_{ан}, U_{ман}$ – мощности, токи и напряжения в режиме несущей волны, а ξ и η – коэффициент использования анодного напряжения и к.п.д.

В режиме максимальной мощности

$$E_{a_{max}} = E_{ан} \cdot (1 + m), J_{a0_{max}} = J_{a0н} \cdot (1 + m), \\ U_{ma_{max}} = U_{ман} \cdot (1 + m), J_{a1_{max}} = J_{a1н} \cdot (1 + m),$$

где m – коэффициент модуляции.

Соответственно, все мощности возрастают в $(1 + m)^2$ раз, а ξ и η остаются неизменными.

В тетрадах и пентодах анодная модуляция в чистом виде не применяется, т.к. при малых напряжениях на аноде резко увеличивается ток экранной сетки, что может привести к гибели ламп. Для устранения этого недостатка используется одновременная синфазная модуляция на анод и экранную сетку, так что

$$E_a = E_{ан} \cdot (1 + m \cdot \cos \Omega t), E_{g2} = E_{g2н} \cdot (1 + m \cdot \cos \Omega t),$$

где $E_{g2н}$ – напряжение на экранной сетке в режиме несущей волны, а Ω – частота модуляции.

Физические процессы и энергетические соотношения при анодно-экранной модуляции сохраняются такими же, как и при модуляции на аноде.

Так же, как и при сеточной модуляции, помимо статической модуляционной характеристики, определяются и динамические амплитудная и частотная характеристики.

Амплитудной динамической модуляционной характеристикой при анодной модуляции называется зависимость

$$m = f(U_{\Omega a}) \text{ при } \Omega = const,$$

где U_{Ω} – амплитуда звуковой частоты на выходе модулятора.

В свою очередь $U_{\Omega a}$ зависит от амплитудной характеристики модулятора

$$U_{\Omega a} = f'(U_{ax}),$$

где U_{ex} – низкочастотное модулирующее напряжение на входе модулятора.

Таким образом, общая амплитудная характеристика передатчика будет зависеть от свойств генератора и модулятора.

Частотная динамическая характеристика передатчика представляет зависимость коэффициента модуляции от частоты модуляции на входе модулятора при постоянной амплитуде U_{ex} , т.е.

$$m = \varphi(\Omega) \text{ при } U_{\text{ex}} = \text{const.}$$

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ. Анодная модуляция осуществляется в выходной ступени генератора. Модулирующее напряжение подается на сетки лампы модулятора и далее с выхода модуляционного трансформатора на анод и экранную сетку генераторной лампы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить схему
2. Включить установку и подать напряжение на задающий генератор и промежуточный каскад. Установить устойчивый режим самовозбуждения автогенератора.
3. Включить анодное напряжение выходного каскада и поворотом ручки регулятора на блоке питания установить $E_a = 240 \div 250 \text{ В}$.
4. Настроить выходной каскад в режим максимальной мощности при $\theta = 90^\circ$.
5. Изменяя анодное питание генератора от 0 до 500 В , снять статическую модуляционную характеристику

$$J_{a0}, J_{g01}, J_{g02}, J_k, U_n = f(E_a) \text{ при } U_{mg} = \text{const.}$$

Результаты занести в таблицу.

$E_a \text{ В}$	60	120	180	240	300	360	420	480	540	Примеч.
$J_{a0} \text{ mA}$										$E_g =$ $U_{mg} =$ $X_{cs} =$
$J_{g01} \text{ mA}$										
$J_{g02} \text{ mA}$										
$J_k \text{ дел}$										
$U_n \text{ В}$										

6. Используя полученные результаты, построить графики, найти телефонную точку и точку максимального режима, определить соответствующие им значения напряжений $E_a = E_{an}, U_n = U_{nk}, E_a = E_{a_{\text{max}}}, U_n = U_{n_{\text{max}}}$ и токов J_{a0n} и $J_{a0_{\text{max}}}$.

Рассчитать мощности и к.п.д. для режима несущей волны и максимального режима. Данные свести в таблицу.

Парам. Режим	E_a В	P_0 Вт	P_1 Вт	P_a Вт	$\eta\%$	Примеч.
Несущ.						
Макс.						

Провести анализ полученных результатов.

7. Установить $E_a = E_{ан}$ при $U_{mg} = const$. Подать на вход модулятора звуковое напряжение с частотой $F = 1 кГц$ и снять амплитудные характеристики модулятора и передатчика, т.е.

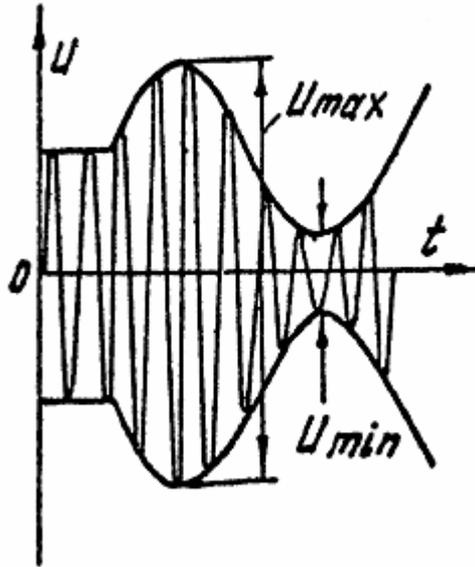
$$U_{\Omega a} = f(U_{ex}) \text{ и } m = f(U_{ex}) \text{ при } F = const,$$

где $U_{\Omega a}$ – напряжение на выходе модулятора,

U_{ex} – напряжение на его входе,

$$m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$$

– коэффициент модуляции.



Измерение напряжения $U_{\Omega a}$ производится ламповым вольтметром на клемме $U_{\Omega a}$, а напряжения U_{max} и U_{min} на экране осциллографа, подключенного к клемме U_n нагрузки.

Объяснить полученные результаты.

В отчете представить:

- а) Краткое содержание и схему работы.
- б) Таблицы и графики наблюдений.
- в) Выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком режиме по напряженности осуществляется анодная модуляция?
2. Нарисуйте и объясните ход модуляционной характеристики при анодной модуляции.
3. Как выбираются лампы при модуляции на анод?
4. Как изменяются мощности и к.п.д. генератора при переходе от режима несущей волны к максимальному режиму?
5. Чему равно мгновенное напряжение на аноде при $m = 1$?
6. Почему в передатчиках на тетродах и пентодах применяется анодно-экранная модуляция, а не анодная?
7. Каковы преимущества применения автосмещения при анодной модуляции?
8. Почему анодная модуляция мало чувствительна к фону от источников питания?
9. Сравните достоинства и недостатки анодной и сеточной модуляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под редакцией Терентьева Б.П. Радиопередающие устройства, 1972., стр. 164 – 181.
2. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с,
1. Бордус А. Д. Устройства формирования сигналов. Часть II. – Томск: ТУСУР, 2001. – 101 с.

РАБОТА № 12 ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Перед ознакомлением с работой и ее заданиями, с разрешения руководителя или лаборанта включить под напряжение исследуемый автогенератор с автосмещением для прогрева.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомить учащихся с основными методами и схемами частотной модуляции, дать навыки по контролю и измерению режима автогенератора и модуляции его частоты.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ. Известно, что частота автогенератора определяется, в основном, параметрами его контура:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_0 \cdot C_0}}$$

Если индуктивность или емкость контура изменять относительно среднего значения на величину $\pm \Delta L$ или $\pm \Delta C$, то частота генерации будет меняться на величину:

$$\Delta f = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta L}{L_0} \cdot f_0 \quad \text{или} \quad \Delta f = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta C}{C_0} \cdot f_0$$

относительно величины f_0 . Таким образом, частотную модуляцию можно получить, воздействуя на индуктивность или емкость контура. Максимальное отклонение частоты относительно среднего значения называется девиацией частоты. Для частотной модуляции пригоден любой реактивный элемент, параметром которого можно управлять с помощью модулирующего сигнала.

Одним из таких элементов является варикап. Варикап – это полупроводниковый диод, выполняющий роль емкости. Известно, что емкость р-п перехода зависит от величины приложенного обратного напряжения. Изменением этого напряжения и управляют частотой генерируемых колебаний.

На рис. 35 показана зависимость ёмкости варикапа от напряжения и схема модуляции с варикапом.

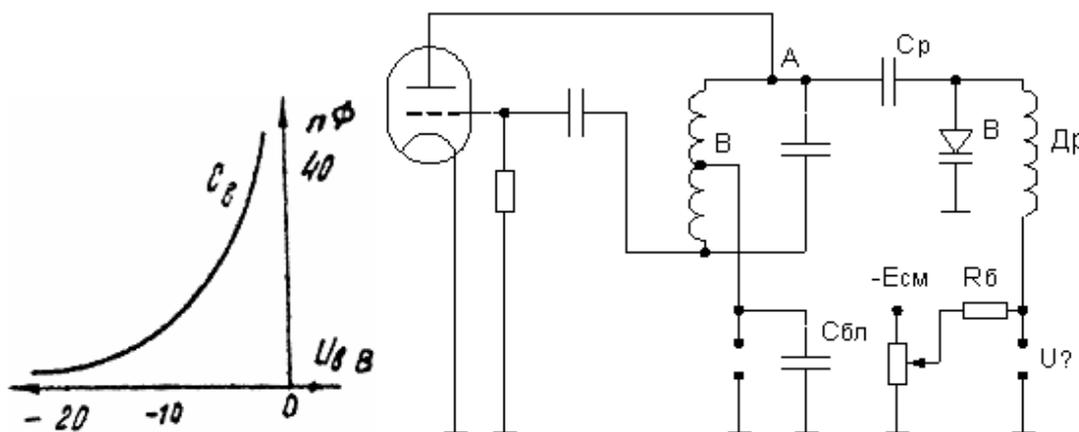


Рис. 35

Здесь варикап подключен к точкам A и B контура через разделительный C_p и блокировочный $C_{\text{бл}}$ конденсаторы. На варикап подано отрицательное смещение, которое можно регулировать потенциометром для выбора рабочей точки. Дроссель исключает шунтирование контура автогенератора источником модулирующего сигнала U_{Ω} , а резистор R_6 защищает, в свою очередь, этот источник от замыкания через потенциометр.

Достаточно часто для частотной модуляции применяется реактивная лампа или транзистор. Реактивная лампа (транзистор) – это обычная лампа (чаще всего пентод), поставленная в такой режим, что ее кажущееся сопротивление току высокой частоты является реактивным. Чтобы обеспечить такой режим, входное напряжение высокой частоты подается на анод лампы прямо, а на сетку – через фазовращатель, обеспечивающий сдвиг $\pm 90^\circ$. Так как проницаемость пентода $D=0$, то анодный ток определяется сеточным напряжением, и фаза этого тока сдвинута на $\pm 90^\circ$ относительно приложенного к аноду напряжения. Практические схемы реактивных ламп, работающих как емкость и индуктивность, приведены на рис.36.

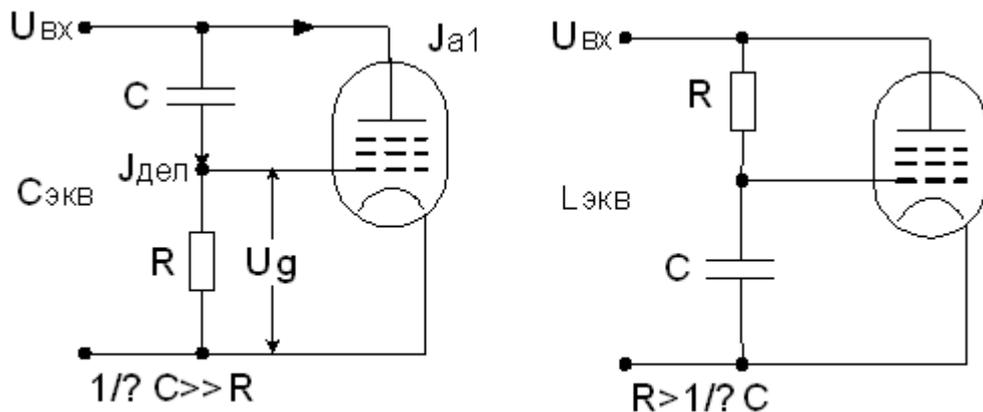


Рис. 36

Рассмотрим реактивную лампу как емкость. Здесь цепочка CR является фазовращателем – делителем для входного напряжения. Ток делителя легко определить из выражения

$$J_{\text{дел}} = \frac{U_{\text{вх}}}{\left(\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} + R \right)},$$

и, так как $1/\omega C \gg R$, то $J_{\text{дел}} \approx j \cdot U_{\text{вх}} \cdot \omega \cdot C$. Ток делителя, протекая через резистор R , создает на нем напряжение, которое подается на сетку лампы

$$U_g = J_{\text{дел}} \cdot R \approx j \cdot U_{\text{вх}} \cdot \omega \cdot C \cdot R.$$

Это напряжение вызывает в анодной цепи реактивной лампы ток

$$J_{\text{а1}} = S \cdot U_g = j \cdot U_{\text{вх}} \cdot \omega \cdot C \cdot R \cdot S,$$

причем видно, что этот ток опережает входное напряжение на 90° . Таким образом, лампа по отношению к входному напряжению ведет себя как емкость. Найдем из последнего выражения эквивалентное сопротивление лампы

$$Z_{\text{экв}} = \frac{U_{\text{вх}}}{J_{\text{а1}}} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C \cdot R \cdot S}$$

откуда эквивалентная емкость лампы

$$C_{\text{экв}} = C \cdot R \cdot S.$$

Аналогичным образом можно найти эквивалентную индуктивность для второй схемы –

$$L_{\text{экв}} = \frac{R \cdot C}{S}.$$

Все вышеизложенное можно проиллюстрировать с помощью векторных диаграмм (см. рис. 37), которые показывают фазовые соотношения для токов и напряжений в реактивных лампах.

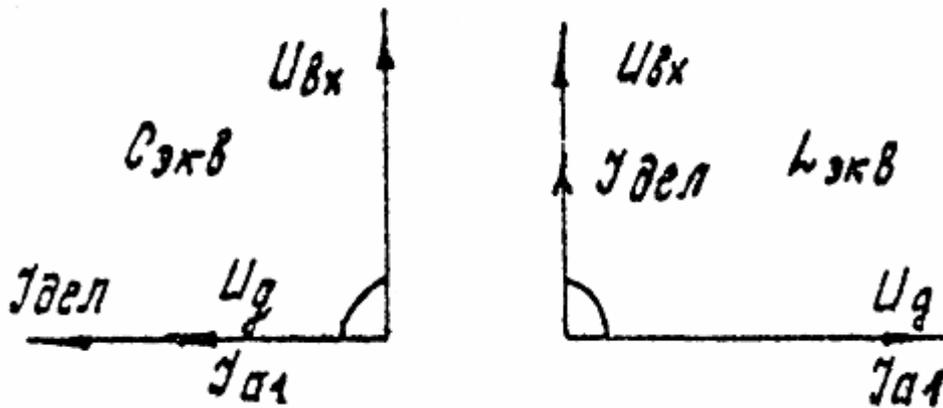


Рис. 37

Замечательно, что величиной эквивалентной емкости или индуктивности легко управлять, изменяя величину S с помощью изменения смещения на сетке реактивной лампы.

При ЧМ статической модуляционной характеристикой называется зависимость частоты генерации от модулирующего фактора. При использовании варикапа или реактивной лампы она представляет собой зависимость $f = \varphi(E_g)$, где E_g – смещение на варикапе или сетке реактивной лампы.

Динамической модуляционной характеристикой называется зависимость $\Delta f = \varphi(U_\Omega)$, где Δf – девиация частоты, U_Ω – амплитуда модулирующего сигнала. Для измерения девиации используется прибор – девиометр.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Изучить схему ЧМ на варикапе и реактивной лампе на макете.
2. Переключатель “Способ ЧМ” поставить в положение “Варикап” и снять статические модуляционные характеристики $f, U_{\text{АГ}}, J_{\text{г01}} = \varphi(E_g)$; E_g изменять от -2 до -20 В .

Частоту замерять частотомером. Результаты внести в таблицу.

$E_{cm} B$	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20
$f \text{ кГц}$										
U_{ma}										
$J_{g10} \text{ mA}$										

3. Снять статические модуляционные характеристики для двух схем реактивной лампы; E_g изменять от $-2 B$ до $-20 B$.

В отчете представить:

- 1) Краткое содержание и схему работы
- 2) Таблицы и графики наблюдений
- 3) Расчет эквивалентных величин $C_{\text{э}}, L_{\text{э}}$ для $S = 5 \text{ mA} / B$
- 4) Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Начертите автогенератор с реактивной лампой, работающей как эквивалентная емкость. Введите регулирующий сигнал и напряжение звуковой частоты.
2. То же, но лампа должна работать как эквивалентная индуктивность.
3. Какие требования предъявляются к реактивным лампам?
4. Начертите любую схему автогенератора со всеми его цепями, подключите реактивную лампу. Как будет изменяться частота, если смещение на первой сетке реактивной лампы устремить к нулю?
5. Выведите формулу для величины эквивалентной индуктивности $-L_{\text{э}}$.
6. От чего зависит стабильность средней частоты автогенератора при ЧМ? Как можно повысить стабильность средней частоты?

ЛИТЕРАТУРА

1. Под редакцией Терентьева Б.П. Радиопередающие устройства, 1972., стр. 337 – 342, 348 – 351.
2. Шахгильдян В. В. Радиопередающие устройства. М. Радио и связь. 2002. – 560 с.
3. Бордус А. Д. Устройства формирования сигналов. Часть II. – Томск: ТУСУР, 2001. – 101 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	2
Правила выполнения лабораторных работ.....	2
Описание лабораторной установки.....	3
Макет №1.....	5
Макет №2.....	9
Генератор с внешним возбуждением. Общая часть.....	12
Работа №1. Исследование форм импульсов генератора с внешним возбуждением.....	17
Работа №2. Исследование режима генератора при изменении питающих напряжений.....	22
Работа №3. Исследование нагрузочных и резонансных характеристик генератора.....	29
Работа №4. Исследование зависимости режима генератора от угла отсечки.....	37
Работа №5. Исследование трехточечных автогенераторов.....	41
Работа №6. Исследование жесткого режима возбуждения автогенератора.....	48
Работа №7. Исследование автогенератора с кварцем.....	53
Работа №8. Исследование стабильности частоты автогенератора.....	59
Работа №9. Исследование пентодной модуляции.....	63
Работа №10. Исследование сеточной модуляции смещением	67
Работа №11. Исследование анодно-экранной модуляции.....	71
Работа №12. Исследование схем частотной модуляции.....	77